

STUDIE ZUR KLASSIFIKATION EMOTIONALER EXPRESSION

**Dissertation**  
**zur Erlangung des akademischen Grades**  
doctor medicinae (Dr. med.)

**vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät**  
**der Friedrich-Schiller-Universität Jena**

**von Frau Sandra Heginger**  
**geboren am 10.10.1992 in Neuss**

## **Gutachter**

1. Herr PD Dr. med. Carsten Klingner  
Leiter des Biomagnetischen Zentrums, Universitätsklinikum Jena
2. Herr Univ. Prof. Dr. Christian Dobel  
Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde, Universitätsklinikum Jena
3. Herr Prof. Dr.-Ing. habil. Jens Haueisen  
Institut BMTI, TU Ilmenau

**Tag der öffentlichen Verteidigung: 04.12.2018**

## Abkürzungsverzeichnis

### Allgemeine Abkürzungen

Abb.	Abbildung
Ag	Argentum, Elementsymbol für Silber
ATP	Adenosintriphosphat
BEM	boundary element method
bspw.	beispielsweise
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
Cl <sup>(-)</sup>	Elementsymbol für Chlor
C <sub>z</sub>	Schnittpunkt der Verbindungslinie zwischen beiden präaurikulären Punkten und der Verbindungslinie zwischen Nasion und Inion
dc	engl.: <i>direct current</i> ; Gleichstrom
ECD	engl.: <i>equivalent current dipole</i>
EEG	Elektroenzephalographie, Elektroenzephalogramm
EKF	Ereignis-korrelierte Magnetfelder
EKP	Ereignis-korrelierte Potentiale
EOG	Elektrookulographie, Elektrookulogramm
ERF	engl.: <i>event-related fields</i> , Ereignis-korrelierte Felder
ERP	engl.: <i>event-related potential</i> , Ereignis-korrelierte Potential
fMRT	funktionelle Magnetresonanztomographie
FSU	Friedrich-Schiller-Universität
GEE	engl.: <i>Generalized Estimating Equation</i>
ICA	engl.: <i>Independent Component Analysis</i>
insb.	insbesondere
K <sup>(+)</sup>	Elementsymbol für Kalium
MEG	Magnetoenzephalographie, Magnetoenzephalogramm
MRT	Magnetresonanztomographie
N.	Nervus
Na <sup>(2+)</sup>	Elementsymbol für Natrium
PET	Positronenemissionstomographie
rf	engl.: <i>radio frequency</i> ; Hochspannung

## Abkürzungsverzeichnis

sog.	sogenannte
SPECT	engl.: <i>single photon emission computed tomography</i> ; Einzelphotonen-Emissionscomputertomographie
SQUID	engl.: <i>Superconducting QUantum Interference Device</i> ; supraleitende Quanteninterferenzeinheit
Tab.	Tabelle
TFR	engl.: <i>time-frequency representation</i> ; Zeit-Frequenz Darstellung
u.a.	unter anderem
vs.	versus
z.B.	zum Beispiel
ZNS	Zentrales Nervensystem

## Einheiten

€	Euro
μ	SI-Präfix mikro, $10^{-6}$
cm	Zentimeter (0,01 m); Meter m ist die SI-Einheit für die Länge
f	SI-Präfix femto, $10^{-15}$
K	Kelvin; SI-Einheit für die thermodynamische Temperatur [0 Grad Celsius = 273,15 K]
l	Liter; Einheit für das Volumen; In SI-Einheiten $1\text{ l} = 0,001\text{ m}^3$
min.	Minute $[1\text{ min} = \frac{1}{60}h = 60s]$
ms	Millisekunden (0,001 s); Sekunden s ist die SI-Einheit für die Zeit
mV	Millivolt (0,001 V); Volt V ist die Maßeinheit für die elektrische Spannung $[1V = 1\frac{W}{A} = 1\frac{J}{C} = 1\frac{kgm^2}{As^3} = 1\frac{Nm}{As}]$
n	SI-Präfix nano, $10^{-9}$
p	SI-Präfix piko, $10^{-12}$
T	Tesla; Abgeleitete SI-Einheit für die magnetische Flussdichte $[1T = 1\frac{Vs}{m^2} = 1\frac{N}{Am} = 1\frac{Wb}{m^2} = 1\frac{kg}{As^2}]$

# Inhaltsverzeichnis

<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>3</b>
<b>INHALTSVERZEICHNIS .....</b>	<b>5</b>
<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>7</b>
<b>1. EINLEITUNG .....</b>	<b>9</b>
<b>2. THEORETISCHE GRUNDLAGEN.....</b>	<b>10</b>
2.1. WAS SIND EMOTIONEN? – VERSCHIEDENE DEFINITIONSANSÄTZE.....	10
2.2. NEUROPHYSIOLOGISCHE GRUNDLAGEN – DAS NEURON, AKTIONSPOTENTIAL, POSTSYNAPTISCHES POTENTIAL .....	12
2.3. NEUROANATOMIE - DAS LIMBISCHE SYSTEM .....	13
2.3.1. <i>Strukturen des limbischen Systems</i> .....	13
2.3.2. <i>Funktionen in Bezug auf Emotionen: Hippocampus, Gyrus cinguli und Amygdala</i> .....	13
2.4. EMOTIONALE ABSTUMPfung -EINFLUSS DER MEDIEN .....	14
<b>3. THEORETISCHE GRUNDLAGEN DER MESSMETHODEN .....</b>	<b>15</b>
3.1. MAGNETOENZEPHALOGRAPHIE (MEG).....	15
3.1.1. <i>Neurophysiologische Korrelate</i> .....	15
3.1.2. <i>Das Messsystem</i> .....	16
3.1.3. <i>Störbereiche</i> .....	17
3.2. ELEKTROENZEPHALOGRAPHIE (EEG) .....	17
3.2.1. <i>Neurophysiologische Korrelate</i> .....	17
3.2.2. <i>Das 10-20-System</i> .....	18
3.3. KORTIKALE ANTWORTEN – EKP UND EKF .....	19
3.3.1. <i>Funktionen der etablierten Frequenzbänder</i> .....	19
3.3.2. <i>Die EEG-Komponenten P3 und LPP</i> .....	20
3.4. VERGLEICH MEG UND EEG .....	21
<b>4. FRAGESTELLUNGEN UND HYPOTHESEN.....</b>	<b>23</b>
<b>5. METHODIK .....</b>	<b>24</b>
5.1. STICHPROBE .....	24
5.2. VISUELLE STIMULI (IAPS) UND DAS BEWERTUNGSVERFAHREN (SAM).....	25
5.2.1. <i>International Affektive Picture System (IAPS)</i> .....	26
5.2.2. <i>Self-Assessment Manikin (SAM)</i> .....	26
5.3. TECHNISCHER AUFBAU UND MATERIALIEN.....	28
5.3.1. <i>MEG-Messung</i> .....	28
5.3.2. <i>EEG-Messung</i> .....	28
5.4. VERSUCHSABLAUF UND AUFGABENSTELLUNG.....	29
5.4.1. <i>MEG und EEG Untersuchung</i> .....	29
5.4.2. <i>Subjektive Bewertung der Bilder mit Videoaufzeichnung des Gesichtes</i> .....	31
5.5. DATENAUSWERTUNG UND STATISTISCHE ANALYSEN .....	32
5.5.1. <i>MEG und EEG Datensätze</i> .....	32
5.5.1.1. <i>Anwendung der Software-Funktion MaxFilter™</i> .....	32
5.5.1.2. <i>Vorverarbeitung</i> .....	32
5.5.1.3. <i>Weitere Analysen und statistische Auswertung</i> .....	37
5.5.2. <i>Subjektive Bewertung der IAPS Bilder</i> .....	47
5.6. MESSFEHLER.....	48
<b>6. ERGEBNISSE.....</b>	<b>49</b>
6.1. MEG – POWER SPEKTREN-ANALYSE .....	49

# Inhaltsverzeichnis

6.1.1. In der Dimension Wertung - Kategorie angenehm, neutral, unangenehm .....	49
6.1.2. In der Dimension Erregung/Aufregung – Kategorie high & low arousal .....	52
6.2. SUBJEKTIVE BEWERTUNG DER IAPS BILDER .....	54
6.2.1. Vergleich der erhobenen Daten mit der Literatur .....	54
6.2.1.1. Kategorie angenehm.....	54
6.2.1.2. Kategorie neutral .....	55
6.2.1.3. Kategorie unangenehm.....	56
6.2.2. Analyse der Zusammenhänge zwischen den drei Bewertungsdimensionen Wertung, Erregung/Aufregung und Dominanz.....	57
<b>7. DISKUSSION.....</b>	<b>61</b>
7.1. POWER SPEKTREN: STELLUNGNAHME ZU HYPOTHESE I.....	61
7.2. SUBJEKTIVE BEWERTUNG DER IAPS BILDER .....	66
7.2.1. Stellungnahme zu Hypothese II und III.....	66
7.2.2. Stellungnahme zu Hypothese IV .....	70
<b>8. SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK .....</b>	<b>72</b>
<b>9. VERZEICHNISSE .....</b>	<b>73</b>
9.1. LITERATURVERZEICHNIS .....	73
9.2. VERZEICHNIS ÜBER DIE VERWENDETEN IAPS BILDER .....	81
9.3. ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	81
9.4. TABELLENVERZEICHNIS.....	84
<b>10. ANHANG .....</b>	<b>86</b>
10.1. WEITERE IBM ® SPSS® TABELLEN .....	86
10.2. FORMULARE.....	91
10.2.1. Einverständniserklärung .....	91
10.2.2. Aufklärung .....	93
10.3. STUDIENTEILNEHMERINSTRUKTION .....	96
10.4. FRAGEBÖGEN .....	98
10.4.1. Vor dem 1. Teil der Studie.....	98
10.4.2. Vor dem 2. Teil der Studie.....	99
10.4.3. Allgemeiner Fragebogen .....	100
10.5. CURRICULUM VITAE .....	101
10.6. DANKSAGUNG .....	102
10.7. EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG .....	103

## Zusammenfassung

Die Untersuchung der kortikalen Verarbeitung unterschiedlicher emotionaler Stimuli verschiedener Modalitäten, sei es auditiv oder visuell, ist ein wichtiger Bestandteil der Hirnforschung. Viele Studien versuchen den Bereich der Emotionen mittels verschiedener neuroanatomischer, neurophysiologischer Messmethoden objektivierbar zu machen, wobei überwiegend die Elektroenzephalographie (EEG) zum Einsatz kommt. Es konnten durch die Aufzeichnung kortikaler Aktivitäten Erkenntnisse über die zeitliche und räumliche Repräsentation der Emotionsverarbeitung gewonnen werden. Es ist hierbei unstrittig, dass sich diese Repräsentationen emotionsspezifisch unterscheiden. Es herrscht jedoch Uneinigkeit darüber, inwiefern gefundene Unterschiede zwischen den kortikalen Antworten für positive und negative Emotionen bzw. einem neutralen Emotionszustand die verschiedenen kortikalen Verarbeitungsprozesse widerspiegeln. Sind bestimmte Erregungsmuster der Neurone, bestimmte Aktivitäten über einzelnen kortikalen Regionen einer bestimmten Emotion aufgrund der anatomisch lokalisierbaren Prozessierung zuordenbar?

Ziel dieser Arbeit war es, Unterschiede der emotionalen Verarbeitung von Bildern unterschiedlicher Wertung (*valence*: angenehm, neutral, unangenehm) bzw. unterschiedlicher Level der Erregung/Aufregung (*arousal*: hoch erregend, erregungsarm) in Hinblick auf die verschiedenen Frequenzbänder und Zeitbereiche zu untersuchen. Für die Untersuchungen wurden die EEG und die Magnetoenzephalographie (MEG), einer nicht-invasiven und etablierten Methode zur Untersuchung evozierter Magnetfelder, kombiniert, wobei sich die finalen Analysen auf die Magnetometer beschränkten. Insgesamt schlossen wir 18 Probanden in die MEG-Datenauswertung ein. Als visuelle Stimuli wurden 180 Bilder aus dem *IAPS* (*International Affective Picture System*, (Lang et al. 1997)) ausgewählt, jeweils 60 Bilder aus der Kategorie angenehm, neutral und unangenehm. Um für die Analyse der MEG-Datensätze Kenntnis darüber zu haben, welche subjektive Empfindung die Probanden beim Betrachten eines jeden Bildes verspürt haben, wurden den Probanden im zweiten Teil dieser Studie die 180 *IAPS* Bilder erneut in derselben Reihenfolge präsentiert. Hierbei fand die Bewertung eines jeden Bildes nach den drei Dimensionen Wertung (*valence*), Erregung/Aufregung (*arousal*) und Dominanz (*dominance*) statt, wofür die sog. *SAM*-Figuren (*Self-Assessment Manikin*, (Bradley und Lang 1994)) genutzt wurden. Von allen Studienteilnehmern wurden die Ereignis-korrelierten Magnetfelder (EKF) ermittelt und schließlich über alle Studienteilnehmer gemittelt. So konnten Unterschiede in den *Power* Spektren sowohl für die drei Kategorien als auch für die verschiedenen Abstufungen des ausgelösten Erregungs-/Aufregungsniveaus emotionaler Stimuli zwischen 50 ms und 400 ms poststimulus in den Frequenzbändern (delta,

theta, alpha, beta, gamma) gefunden werden. Folgende Ergebnisse wiesen statistische Signifikanz auf ( $p < 0.05$ ): Eine höhere delta *Power* erreichten unangenehme Stimuli zum einen im Vergleich zu angenehmen Stimuli (100-300 ms), zum anderen in Kontrast zu Neutralen (300-400 ms). Im theta Frequenzbereich zeigte sich u.a. eine höhere *Power* für unangenehme Stimuli verglichen mit Angenehmen (150-300 ms). Eine höhere gamma *Power* bildete sich für unangenehme Stimuli im Vergleich zu Angenehmen ab (50-300 ms). Dies ist evolutionsgeschichtlich begründbar, da es für den Menschen überlebenswichtig ist, Bedrohungen/Gefahren jeglicher Art stärker wahrzunehmen als angenehme oder neutrale Reize. Im alpha Frequenzbereich ergab sich eine höhere *Power* für angenehme Stimuli verglichen mit Neutralen (250-400 ms), was die Vermutung unterstützt, dass hier komplexe kortiko-kortikale Interaktionen widerspiegelt werden, die auf sog. Top-down Prozessen beruhen (von Stein und Sarnthein 2000). Im beta Frequenzbereich konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den drei Konditionen gefunden werden. In Hinblick auf die Dimension Erregung/Aufregung zeigten sich höhere *Power* Spektren für hoch-erregende Stimuli in Kontrast zu Erregungsarmen sowohl im delta als auch im theta Frequenzbereich (300-400 ms). In niedrigen Frequenzbereichen erfolgt demnach die Detektion affektiver Erregung bzw. Ruhe, während hingegen eine Diskriminierung des Stimulus nach seiner Wertung (*valence*) in allen Frequenzbereichen stattfindet. Die sechs Magnetometer mit den höchsten EKF-Differenzen für die untersuchten Konditionen lagen temporoparietal über der rechten Hemisphäre, was eine Aktivität der rechten Inselrinde widerspiegeln könnte (Chen et al. 2009). Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit bestätigen vorhergehende EEG Untersuchungen und erweitern diese zum Teil. Neben der Analyse der *Power* Spektren erfolgte eine statistische Auswertung der subjektiven Bewertungen der *IAPS* Bilder, wobei zum einen ein Vergleich der erhobenen Daten mit den standardisierten Referenzdaten angestellt wurde, zum anderen die drei Bewertungsdimensionen Wertung, Erregung/Aufregung und Dominanz auf ihre Zusammenhänge geprüft wurden. Hierbei zeigten sich folgende statistisch signifikante Unterschiede: Für das als angenehm klassifizierte Bildmaterial in den Dimensionen Erregung/Aufregung und Dominanz, für neutrale *IAPS* Bilder in allen drei Dimensionen und für das als unangenehm katalogisierte Bildmaterial in den Dimensionen Wertung und Dominanz. Sowohl die hohen Übereinstimmungen als auch die gefundenen Unterschiede lassen sich am ehesten zeitabhängig in Hinblick auf soziokulturelle Veränderungen interpretieren. Zusammenhänge zwischen den drei Bewertungsdimensionen stellten sich graphisch illustriert am anschaulichsten zwischen Wertung und Erregung/Aufregung für die Kategorien angenehm und unangenehm dar, was unter evolutionsgeschichtlichen, phylogenetischen Gesichtspunkten deutbar ist.



### 1. Einleitung

Der Bereich der Emotionen lässt sich zum einen in Hinblick auf das zentrale und periphere Nervensystem untersuchen, zum anderen aber auch in Bezug auf subjektive Berichte zum Erleben von Emotionen oder offensichtliche Reaktionen wie die Mimik oder das Verhalten. Physiologisch von Interesse können hierbei u.a. Veränderungen der Herzaktivität, des Blutdruckes, der Atmung, des elektrischen Hautwiderstandes oder Muskelaktivität sein (Bradley und Lang 2000).

Um nun unter Studienbedingungen Emotionen hervorzurufen, eignen sich verschiedene Reize, wie bspw. Bilder, Filme, Töne oder Wörter. Dabei scheint es wichtig zu sein, dass die verwendeten Stimuli systematisch in Hinblick auf die Dimensionen Wertung (*valence*) und Erregung/Aufregung (*arousal*) variieren (Bradley und Lang 2000).

Die Wertung reicht hierbei von positiv (angenehmer Gefühlszustand: Liebe und Freude) zu negativ (unangenehmer Gefühlszustand: Ärger, Trauer und Furcht) und ist folglich eine bipolare Skala (Lang 1995). Zudem sollten auch neutrale Reize zum Einsatz kommen, Reize, die z.B. weder sehr positiv noch negativ erregend sind, um die Physiologie, die mit der eigentlichen Aufgabe verknüpft zu sein scheint, zu erfassen (Bradley und Lang 2000).

Ein Bestand an Bildern für Studien im Bereich Emotion und Aufmerksamkeit, die anhand statistischer Analysen in Bezug auf die Dimensionen Wertung, Erregung/Aufregung und Dominanz katalogisiert sind, bietet das *International Affective Picture System (IAPS)* (Lang et al. 2008), das in dieser Studie zur Anwendung kommt.

Für die analytische Untersuchung präsentierter emotional ansprechender Bilder, Gesichtern oder Gesichtsausdrücken haben sich die Elektroenzephalographie (EEG), die funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT) und die Magnetoenzephalographie (MEG) etabliert (Güntekin und Başar 2014), aber auch die Positronenemissionstomographie (PET), insb., um Veränderungen in tiefen Strukturen zu detektieren (Phan et al. 2002).

Die EEG und MEG haben dabei das Alleinstellungsmerkmal, elektrophysiologische Veränderungen des Gehirns im Bereich von Millisekunden zu erfassen, wohingegen die fMRT, PET oder auch die Einzelphotonen-Emissionscomputertomographie (SPECT) neurophysiologische Ereignisse im Bereich von Sekunden oder sogar Minuten aufzeichnen (Cohen und Halgren 2003).

Es stellt sich die Frage, ob bestimmte Emotionen lokalisierbare spezifische kortikale Antworten hervorbringen und somit eine objektivierbare Klassifikation emotionaler Expression zulassen. Eine Vielzahl an EEG-Studien konnten bereits Unterschiede in der Stärke und/oder

## 2. Theoretische Grundlagen

Lokalisation von EEG-Signalen bei der emotionalen Verarbeitung von Stimuli der Kategorien angenehm, neutral und unangenehm aufweisen.

Die MEG als Messmethode stellt im Bereich der Emotionserforschung noch eine Rarität dar.

Die vorliegende Studie widmet sich im Kontext von Emotionen der Fragestellung nach der Lokalisation evozierter kortikaler Antworten in Bezug auf unterschiedlich emotional gewichtete visuelle Stimuli und analysiert diese in verschiedenen Frequenzbändern und Zeitfenstern. Zu diesem Zweck erfolgte die Untersuchung mittels simultaner MEG und EEG Messung, wobei sich die finalen Analysen auf die Ereignis-korrelierten Felder (EKF) der Magnetometer beschränkten.

Diese objektiven Messmethoden wurden darüber hinaus durch die subjektive Bewertung der Bilder komplementiert. Zum einen erfolgte dies, um die EKF hinsichtlich ihres von den Studienteilnehmern subjektiv berichteten emotionalen Zustands zu untersuchen, zum anderen, um statistische Vergleiche der erhobenen Bewertungen der *IAPS* Bilder mit den standardisierten Referenzbewertungen zu erheben.

## 2. Theoretische Grundlagen

### ***2.1. Was sind Emotionen? – Verschiedene Definitionsansätze***

Emotionen stellen systemische Antworten des Körpers dar, sie sind Handlungsbereitschaften, die den Körper in einen wachsamten Zustand versetzen und stark im berichteten Affekt, in der Physiologie und im Verhalten variieren (Lang 1995). Eine Emotion ist ein episodisches, biologisch basiertes Muster der Wahrnehmung als Antwort auf einen spezifischen Reiz (Tsolaki et al. 2017). Nicht umsonst werden Gefühlszustände als Emotionen bezeichnet, wo doch der Begriff Emotion seine Wurzeln im lateinischen Verb *movere* hat, das übersetzt bewegen heißt. Der Begriff Motivation stammt ebenfalls von demselben Verb ab, ein Motiv ist literarisch definiert als etwas, das einen bewegt (Bradley und Lang 2000).

Ereignisse, die so wichtig und alltäglich sind wie Emotionen, weisen kognitive Repräsentationen auf, die somatoviszzerale Eigenschaften beinhalten. Dabei ist anzumerken, dass das zentrale Nervensystem (ZNS) beides interpretiert, also den Stimulus und die Antwort infolge somatoviszzeraler Informationen (Cacioppo et al. 2000).

## 2. Theoretische Grundlagen

Einige Wissenschaftler glauben, dass das Wahrnehmen interozeptiver Vorgänge eine entscheidende Rolle in der Wahrnehmung von Emotionen spielt (Craig 2008).

Gesteuert werden Emotionen durch zwei entgegengesetzt gerichtete, subkortikal gelegene Systeme (*motivational systems*), die je nach Wertung und Erregung/Aufregung aktiviert werden und bestimmte Handlungen und Reflexe entlang der *appetitive-aversive* Dimension verursachen. Die Wertung bezieht sich auf die Disposition des Organismus ein bestimmtes Verhalten anzunehmen. Ein als unangenehm empfundener Stimulus wird den Organismus in einen Zustand versetzen, der dazugehörige Reflexe auslöst und in einem Flucht- und Vermeidungsverhalten resultiert (*aversives/defensives System*), wohingegen ein angenehmer Stimulus mit Verhaltensweisen wie Annäherung oder Zuneigung und entsprechenden Reflexen assoziiert ist, wie bspw. veränderter Speichelfluss (*appetitive system*). Die Erregung spiegelt dahingegen die Disposition des Organismus wider, mit welcher Stärke und Energie reagiert wird. In diesen subkortikalen Kreislauf sind u.a. der somatosensorische Kortex, die sensorisch-spezifischen Kerne des Thalamus, der basolaterale, laterale und zentrale Kern der Amygdala und schließlich das periaquäduktale Grau im Mittelhirn involviert (Lang et al. 1990, Lang 1995).

In der Psychologie wird explizit zwischen einer physiologischen Erregung, einem Verhaltensausdruck, dem Affekt, und einer bewussten Erfahrung einer Emotion, dem Gefühl, unterschieden (Bos 2006).

Forschungen im Bereich Neuropsychologie und Neurowissenschaften haben gezeigt, dass Gefühle weder notwendig noch ausreichend sind, um emotionale Prozesse hervorzurufen. Studien im Feld der sozialen und kognitiven Psychologie legen nahe, dass Emotionen schnell, automatisch, mühelos oder sogar unbewusst ausgelöst werden können, sobald relevanten Reize präsent sind (Cacioppo et al. 2000).

Das Erfassen autonomer Vorgänge kann objektiv die mit Emotionen in Bezug stehenden physiologischen Antworten des autonomen Nervensystems aufzeigen, wie Veränderungen der Herzaktivität oder der Hautleitfähigkeit. Dies stellt allerdings nur einen kleinen untergeordneten Aspekt des emotionalen Zustandes dar. Die neurophysiologische Messung, auf elektro-physiologischer und bildgebender Techniken basierend, kann dahingegen ein breites Feld an dynamischen Veränderungen eines emotionalen Zustandes direkt erfassen, indem die zu Grunde liegenden Strukturen des Gehirns abgebildet werden können (Kim et al. 2013).

Als eines der entscheidenden Faktoren von Emotionen wird das Gesicht angesehen. So gilt doch die Mimik als Spiegel des inneren emotionalen Zustandes einer Person.

## 2. Theoretische Grundlagen

Charles Darwin postulierte schon im neunzehnten Jahrhundert, dass der Gesichtsausdruck universell und unabhängig von der Kultur sei.

Paul Ekman stellte fest, dass sich die Emotionen auf sechs sog. Basisemotionen vereinfachen lassen. Diese sechs Basisemotionen stellen die Emotionen Freude, Überraschung, Ekel, Trauer, Furcht und Wut dar und sind jeweils durch verschiedene Aktivitätsmuster der mimischen Muskulatur charakterisiert (Dobel et al. 2013). Dabei ist anzumerken, dass nicht ein spezifischer Gesichtsausdruck für eine bestimmte Emotion gefunden werden konnte, stattdessen finden sich bestimmte mimische Ausdrücke innerhalb einer Gruppe, einer Familie von Emotionen. So lassen sich z.B. sechzig Gesichtsausdrücke aus der Gruppe der Emotion Wut von denen aus der Gruppe Furcht oder Ekel unterscheiden (Ekman 1993).

### ***2.2. Neuropsychologische Grundlagen – Das Neuron, Aktionspotential, postsynaptisches Potential***

Die Grundbestandteile des ZNS stellen Neuronen und Gliazellen dar, wobei die Neuronen die die informationsverarbeitende Einheit und damit elektrisch aktiv sind und die Gliazellen eine tragende Rolle in der Versorgung des Hirngewebes mit Nährstoffen einnehmen (Pizzella et al. 2001). Das Neuron besteht aus einem Zellkörper, das den Kern und das Zytoplasma beinhaltet, mehreren Dendriten und einem Axon, einem Filament zur Weiterleitung elektrischer Signale. Es wird zu den sog. erregbaren Zellen gezählt, die u.a. durch eine Spannungsdifferenz, zwischen der Innen- und der Außenseite der sie umgebenden selektiv permeablen Doppelschichtmembran, charakterisiert sind. Im Gleichgewichtszustand, der je nach Zelltyp um die -90 mV liegt, herrscht im Inneren und außerhalb der Zelle eine unterschiedliche Konzentration an Ionen. Maßgebend tragen hierzu  $K^+$  und  $Na^{2+}$ -Ionen bei, wobei sich  $K^+$ -Ionen in höherer Konzentration innerhalb der Zelle und  $Na^{2+}$ -Ionen außerhalb der Zelle befinden. Diese Konzentrationsgradienten führen dazu, dass  $K^+$ -Ionen aus der Zelle hinaus und  $Na^{2+}$ -Ionen in die Zelle hineingetrieben werden. Doch dank der  $Na^{2+}/K^+$ -Pumpe, die mithilfe des Verbrauches von Adenosintriphosphat (ATP) aktiv 3  $Na^{2+}$ -Ionen hinaus und im Austausch 2  $K^+$ -Ionen hinein transportiert, wird dieses Gleichgewichtspotential aufrechterhalten. Wenn es nun zu einer Erregung oberhalb eines bestimmten Wertes kommt, sei es durch eine Interferenz mit einem anderen Neuron oder durch eine externe Stimulation, öffnet sich ein bestimmter spannungsabhängiger  $Na^{2+}$ -Kanal vorübergehend. Durch den folgenden Einstrom von  $Na^{2+}$ -Ionen in die Zelle kommt es zum Anstieg der Potentialdifferenz über der Membran von ca. -90 mV zu über +20 mV. Dadurch schließt das Tor für  $Na^{2+}$ -Ionen und stattdessen kommt es zum

## 2. Theoretische Grundlagen

Öffnen des Tores für  $K^+$ -Ionen, die nun bis zum Erreichen des Gleichgewichtspotentiales aus der Zelle hinausgetrieben werden. Dieser Vorgang mit Depolarisation und anschließender Repolarisation wird Aktionspotential genannt. Sowohl das Axon als auch die Dendriten enden in einer Synapse, die die Signalübertragung von einer Zelle zur anderen mittels sog. Neurotransmitter erlaubt. Die Spannungsänderungen, die mit synaptischer Übertragung assoziiert sind, werden postsynaptische Potentiale genannt. Nicht nur das Aktionspotential, sondern auch das postsynaptische Potential sind für die Entstehung elektrischer Potentiale und damit einhergehender magnetischer Felder fundamental von Bedeutung (Del Gratta et al. 2001).

### ***2.3. Neuroanatomie - Das limbische System***

Das limbische System ist zum Begriff der Lokalisation von Emotionen im Gehirn geworden. Der Ausdruck des limbischen Systems ist darin begründet, dass sich die dazugehörigen Strukturen um das Zwischenhirn und den Balken legen. Dabei stehen die verschiedenen Gehirnareale funktionell miteinander in Verbindung (Trepel 2008).

#### **2.3.1. Strukturen des limbischen Systems**

Zum limbischen System, das überwiegend durch allokortikale Strukturen gebildet wird, zählen im engeren Sinne der Hippocampus, der Gyrus cinguli, der Gyrus parahippocampalis, das Corpus mamillare und schließlich noch das Corpus amygdaloideum (Trepel 2008).

#### **2.3.2. Funktionen in Bezug auf Emotionen: Hippocampus, Gyrus cinguli und Amygdala**

Dem Hippocampus wird neben seiner Funktion im Bereich des Gedächtnisses eine Rolle im Bereich der Emotionen zugesprochen.

Der Gyrus cinguli verfügt über Verbindungen zum motorischen Kern des N. facialis und trägt somit einen entscheidenden Teil zur emotional ausgelösten Mimik wie dem Weinen oder Lachen bei, wobei dies unter dem Einfluss der Amygdala geschieht.

Die Amygdala, die sich aus mehreren Kernen zusammensetzt und bilateral im Temporallappen sitzt, ist u.a. an affektiven Verhaltensweisen oder emotional begründeter motorischer Reaktionen, wie der Initiierung von Weinen oder Lachen, beteiligt. Das Corpus amygdaloideum

## 2. Theoretische Grundlagen

gilt aber auch als Ort, wo Gedächtnisinhalte mit emotionalem Hintergrund abgespeichert werden. Auch die Bewertung emotionaler Stimuli findet hier statt (Trepel 2008).

In Bezug auf ihre Rolle in der Vermittlung von Assoziationen relevanter Ereignisse, sowohl positiver als auch negativer, ist die Amygdala mit in den Fokus neuroanatomischer Modellannahmen von Emotionen und damit der Forschung gerückt. Denn das Corpus amygdaloideum verfügt über verschiedene sowohl afferente als auch efferente Faserverbindungen zu kortikalen, subkortikalen und Hirnstamm Strukturen, wodurch sie viele Inputs von Gehirnarealen erhält, die eine entscheidende Rolle in der Vermittlung autonomer und körperlicher Reaktionen beim emotionalen Verhalten innehaben. Zudem verfügt die Amygdala über Outputs zu eben diesen Teilen des Gehirnes. So erhält der laterale Kern der Amygdala bspw. Inputs von sensorischen Arealen des Kortex, wie visuelle Informationen. Dabei ist zu betonen, dass komplexe Stimuli, wie z.B. Bilder, die eine Wahrnehmung und Verarbeitung auf höherer Ebene erfordern, wahrscheinlich nicht über direkte Inputs im Corpus amygdaloideum verarbeitet werden, sondern über alternative Wege, thalamische und kortikale Faserverbindungen, zur Amygdala gelangen (Bradley und Lang 2000).

Projektionen vom Corpus amygdaloideum zum Hirnstamm sind bei Reaktionsantworten auf Stimuli im Bereich der Angst involviert. Von Faserverbindungen der Amygdala zum Kortex wird angenommen, dass sie zu der Erfahrung von Angst und anderen kognitiven Aspekten der Emotionsverarbeitung beitragen (LeDoux 2003).

### ***2.4. Emotionale Abstumpfung -Einfluss der Medien***

Laut Wissenschaftlern im Bereich Kultur und Medien befinden wir uns in der sog. visuellen Wende, gekennzeichnet zum einen durch einen Anstieg von Bildern in den verschiedensten Medien, als auch durch die Etablierung von Bildern zur Wissensübertragung und -gewinnung (Ballstaedt 2004). Gewalt beispielsweise ist heutzutage allgegenwärtig in den Medien vertreten, v.a. auch visuell, sei es als reale Gewalt, dokumentarisch wie in Nachrichtensendungen oder inszeniert wie im Realitätsfernsehen, oder als fiktionale Gewalt, wie bspw. in Horrorfilmen (Kulcsar 2005). Einer Studie zufolge sollen über 60 % der Fernsehprogramme Gewalt beinhalten (Anderson und Bushman 2002). Aber auch Computerspiele mit violentem Inhalt oder das Internet als ein neues Medium dürfen nicht außer Acht gelassen werden (Kulcsar 2005). Neben evolutionären Bedrohungen wie z.B. Raubtieren oder Schlangen, begegnet der Mensch zunehmend modernen Bedrohungen, wie bspw. Waffen oder Unfälle, die vermutlich eine Anpassung von Wahrnehmung und Verhalten erfordern (Dhum et al. 2017). Denn Sze-

### 3. Theoretische Grundlagen der Messmethoden

nen mit gewaltzeigenden Inhalten hat es immer schon gegeben, hier sei als Beispiel die Kunstszene zu nennen.

Doch nichtsdestotrotz führt die ununterbrochene Überflutung mit online abrufbaren Videos und Fernsehinhalten laut Forschern zur Abstumpfung (Schweidler 2018).

Diese Habitualisierungstheorie besagt, dass eine längerfristige Betrachtung von mit Gewalt behafteten Darstellungen den Rezipienten gegenüber Gewalt desensibilisieren kann (Kulcsar 2005).

## 3. Theoretische Grundlagen der Messmethoden

### *3.1. Magnetoenzephalographie (MEG)*

Die Beziehung zwischen einem magnetischen Feld und den damit assoziierten Strom haben Jean Patiste Biot und Felix Savart empirisch definiert (Sato et al. 1991). Der erste Versuch, magnetische Signale vom menschlichen Gehirn zu detektieren, reicht bis ins Ende der 1960er Jahre zurück und erfolgte mithilfe von nicht supraleitenden Sensoren (Del Gratta et al. 2001). Nur zwei Jahre später wurden zum ersten Mal supraleitende Sensoren eingesetzt, um biomagnetische Signale des menschlichen Herzens zu erfassen (Cohen et al. 1970). Wiederum zwei Jahre später gelang es, alpha Frequenzen des menschlichen Gehirnes zu registrieren und wenige Jahre später erfolgte die Aufzeichnung magnetischer Signale, die mit der Gehirnaktivität, hervorgerufen durch periphere sensorische Stimulation, assoziiert waren (Del Gratta et al. 2001).

#### **3.1.1. Neurophysiologische Korrelate**

Der intrazelluläre Strom ist ein Ionenfluss innerhalb der Membran und wird beim einfachsten und am meist genutzten Quellenmodell als gegenwärtiger Dipol betrachtet. Der Transmembranstrom folgt einem radialen Muster, indem er isotrop durch einen Querschnitt der zylinderförmigen Membran der Nervenzelle fließt. Der extrazelluläre Strom fließt rückwärts in das umgebende Medium, um die Schleife zu schließen und die gegenwärtige Kontinuitätsanforderung zu erfüllen. Anders als beim intrazellulären Strom ist das Modell nun im umgebenden Medium weit verbreitet, aber es bleibt auch hier eine axiale Symmetrie erhalten, zumindest soweit das Medium eine homogene Leitfähigkeit aufweist. Es wird allgemein angenommen,

### 3. Theoretische Grundlagen der Messmethoden

dass postsynaptische Stromflüsse, wie solche an apikalen Dendriten von Pyramidenzellen, die bevorzugt senkrecht zur kortikalen Oberfläche ausgerichtet sind, stimulus- und ereignisbezogene Antworten erzeugen. Die MEG-Signale erfassen die simultane oder synchronisierte Entladung einer großen Gruppe an Neuronen, die über 1.000.000 Synapsen entsprechen. Mittels der MEG können also Forschungen auf makroskopischer Ebene erfolgen (Del Gratta et al. 2001).

Die neuromagnetischen Felder sind sehr schwach, typischerweise mit einer Amplitude, die unter  $10^{-12}$  Tesla (T) liegt. Zum Vergleich, das Erdmagnetfeld liegt im Bereich von  $0.5 \times 10^{-4}$  T und das städtische um die  $10^{-7}$  T (Cohen und Halgren 2003).

#### 3.1.2. Das Messsystem

Ein Magnetfeld kann einen elektrischen Strom erzeugen, solange sich das magnetische Feld ändert. Dieser Effekt nennt sich Induktion und stellt die Grundlage für das Erkennen von Magnetfeldern dar. Wenn eine Drahtspule in ein sich veränderndes magnetisches Feld gebracht wird, wird in der Spule ein elektrischer Strom generiert, wobei dieser Strom zum Signal des Feldes wird. Wird die Spule neu ausgerichtet oder die Anzahl oder Verteilungen der Drahtwindungen variiert, so verändert sich auch das Signal (Sato et al. 1991).

Zum Standard in neuromagnetischen Messungen hat sich die supraleitende Quanteninterferenzeinheit, engl. *SQUID* (*Superconducting QUantum Interference Device*), etabliert, da diese die benötigte Sensitivität aufweist, um die neuromagnetischen Felder, die im Bereich von 10 fT bis 50 pT liegen, zu erfassen (Nowak et al. 1991). Dieser Sensor für magnetische Feldstärkeänderungen wurde in den späten 1960er Jahre von James Zimmermann eingeführt (Hämäläinen et al. 1993). Das *SQUID* System besteht aus einem supraleitendem Ring, der entweder an eine Stelle, *rf-SQUID* (*radio frequency-SQUID*), oder an zwei Stellen, *dc-SQUID* (*direct current-SQUID*), (Sato et al. 1991) durch Josephson Kontakte unterbrochen ist (Hämäläinen et al. 1993). Diese Unterbrechung ist dabei so dünn, dass ein Elektronen Paar, das sog. Cooper-Paar, durch diese Spalte hindurchtunneln kann. Dieser Effekt wird nach seinem Erstbeschreiber im Jahr 1962 Josephson-Effekt genannt (Pizzella et al. 2001).

Supraleitung entsteht nur bei sehr niedrigen Temperaturen, daher müssen *SQUID* Detektoren für eine ordnungsgemäße Funktion herunter gekühlt werden. Dies geschieht mithilfe von flüssigem Helium, welches eine Temperatur von 4,2 Kelvin (K) ( $-269^{\circ}\text{C}$ ) besitzt.

Typische Messeinrichtungen verfügen über eine Kapazität von 60-80 Litern (l) flüssigen Heliums und bedürfen einer Auffüllung alle 5 bis 7 Tage. Der Kryostat, der die Sonden um-



### 3. Theoretische Grundlagen der Messmethoden

schließt, ist der kritische Teil des Messsystems. Daher müssen bestimmte Anforderungen erfüllt sein, wie bspw. der alleinige Verbau von nicht biomagnetischen Materialien oder der Voraussetzung, dass die Entfernung der detektierenden Spulen vom Kopf des Probanden so klein wie möglich ist (Del Gratta et al. 2001).

#### 3.1.3. Störbereiche

Externe Störfelder sind bspw. das Erdmagnetfeld, das im Bereich von 50 Mikrottesla ( $\mu\text{T}$ ) liegt, oder das Feld, das durch elektrische Spannungsleitungen generiert wird und sich im Bereich von 10 Nanotesla ( $\text{nT}$ ) befindet (Pizzella et al. 2001). Die städtische Umgebung verursacht zudem Störbereiche, hervorgerufen durch Aufzüge, Autos, Motoren, Ventilatoren oder auch, falls vorhanden, U-Bahnen. Die umgebenden Störfelder sind folglich ein entscheidender Faktor für die Sensitivität biomagnetischer Messungen.

Aber auch der Studienteilnehmer an sich stellt einen Störbereich bei neuromagnetischen Messungen dar (Romani et al. 1982). Als Beispiel für ein intern erzeugtes Magnetfeld ist die Herzaktivität zu nennen, die im Bereich von 10 Pikotesla ( $\text{pT}$ ) angesiedelt ist (Pizzella et al. 2001).

### 3.2. *Elektroenzephalographie (EEG)*

Die Entwicklung der EEG geht auf den deutschen Hans Berger zurück, der im Jahr 1926 Saitengalvanometerableitungen überwiegend bei Patienten mit Knochenlücken vornahm und schließlich im Jahr 1930 mittels einer direkten Ableitung von Hirnströmen an einem Patienten nach Trepanation den Nachweis erbrachte, dass das EEG seinen Ursprung in der Rinde des Gehirns hat. Mit seinen Erforschungen bis ins Jahr 1931 hat Hans Berger das EEG als eine neue diagnostische Methode im Gebiet der Neuropsychiatrie eingeführt (Jung und Berger 1979).

#### 3.2.1. Neurophysiologische Korrelate

Die Aktivität, die mit der EEG erfasst wird, bezieht sich auf die Aktivität von Neuronen des Kortex, die den Elektroden am nächsten sind. Tiefere Strukturen wie z.B. der Thalamus oder der Hirnstamm können dabei nicht direkt abgebildet werden (Bos 2006). Die summierten Feldpotentiale kortikaler Neurone sind durch postsynaptische dendritische Ströme hervorgerufen. Wenn mehrere Dendriten parallel zueinander angeordnet sind, generieren sie Potentiale, die auf der Kopfhaut aufgezeichnet werden können, an den Stellen, die sich senkrecht zu

### 3. Theoretische Grundlagen der Messmethoden

diesen Dendriten befinden. Der effektive Beitrag kommt dabei hauptsächlich von synchronisierten Komponenten der kortikalen Aktivität. Neben dem synchronisierten Input gibt es stets eine kontinuierliche Veränderung innerhalb des neuronalen Netzwerkes, auch ohne externe Stimulation. Dieses sich ändernde Muster an Synchronisation und Desynchronisation innerhalb verschiedener neuronaler Gruppen verursacht die makroskopischen Veränderungen eines laufenden EEGs. Es wird geschätzt, dass eine Elektrode kortikalen Input unter einer Kopfhautoberfläche in der Größenordnung von  $10\text{ cm}^2$  integriert. Veränderungen im Grad der Synchronisation dieser intrinsischen Aktivität spiegeln sich dabei in Veränderungen der EEG Amplitude in den verschiedenen Frequenzen wider (von Stein und Sarnthein 2000).

#### 3.2.2. Das 10-20-System

Um Potentiale des Gehirnes abzuleiten, bedient man sich heutzutage gesinterter Ag/AgCl-Elektroden, integriert in eine EEG Haube. Nach dem international standardisierten 10-20 System werden die einzelnen Elektroden an definierten Kopfstellen angebracht (Picton et al. 2000).

Dieses System nutzt Distanzen in Prozentangaben von einigen festen Punkten auf dem Kopf, um die exakte Position der Elektroden zu beschreiben. Die Startpunkte bilden das Nasion und Inion. Eine imaginäre vertikale Linie führt vom Nasion zum Inion und eine horizontale Linie vom linken zum rechten Ohr läppchen. Von 10 Prozent (%) über dem Nasion und Inion, entlang der vertikalen Linie, wird ein theoretischer Kreis um den Kopf gezogen, daher die 10 in dem Namen 10-20 System. Die anderen Elektroden sind so positioniert, dass sie einen 20 %igen Abstand zwischen den Elektroden beinhalten, wie die 20 im Namen 10-20 System anzeigt. 20 % über dem Kreis vom Nasion befindet sich die Elektrode Fz und weitere 20 % weiter oben ist Cz. Die Elektrode Pz wird auf der vertikalen Linie in ähnlicher Weise positioniert. C3, T3, C4 und T4 werden auf die gleiche Art und Weise entlang der horizontalen Markierung angebracht. Die Elektroden auf dem imaginären Kreis befinden sich ebenfalls in einer 20 % Distanz zueinander, unter Beibehaltung von T3 und T4 auf der horizontalen Linie. Die restlichen Elektroden werden gleich weit zwischen der vertikalen Linie und dem Kreis platziert, um die horizontale Linie der frontal und parietal gelegenen Elektroden zu füllen (Bos 2006).

#### **3.3. Kortikale Antworten – EKP und EKF**

Ereignis-korrelierte Potentiale (EKP, *event-related potentials*, *ERPs*) sind Spannungsänderungen, die zeitlich mit physischen oder geistigen Ereignissen assoziiert sind. Diese Potentiale können auf der menschlichen Kopfhaut aufgezeichnet und vom EEG mittels Möglichkeiten der Filterung und Signalmittelung extrahiert werden.

Die zeitliche Auflösung liegt hierbei im Bereich von Millisekunden und die räumliche Genauigkeit wird auf annähernd 5 cm geschätzt (Picton et al. 2000).

Die Messung Ereignis-korrelierter Felder (EKF, *event-related fields*, *ERFs*) beinhaltet die Detektion von Magnetfeldern, generiert durch den intradendritischen Stromfluss kortikaler Pyramidenzellpopulationen. Die Zellpopulationen, die durch die EKP und EKF detektiert werden, überlappen sich im Allgemeinen, dennoch sind sie aufgrund unterschiedlicher Sensitivitäten beider Messsysteme hinsichtlich der Ausrichtung und Tiefe der generierenden Zellen nicht identisch.

EKP können in folgende Typen unterteilt werden: Motorische, kognitive und sensorische EKP. Letztere werden durch einen äußerlichen Stimulus evoziert, mit den Modalitäten visuell, auditorisch oder somatosensorisch (Bressler und Ding 2006).

Im Jahr 1926 versuchte bereits Hans Berger als Entwickler der EEG, die Hirnströme anhand ihrer Frequenz zu ordnen (Jung und Berger 1979).

Die Frequenz und die Amplitude sind auch heute noch die Charakteristika eines aufgezeichneten EEGs. Die Frequenzbreite reicht normalerweise von 0,5 Hertz (Hz) bis zu 80 Hz, mit Amplituden zwischen 10 und 100 Mikrovolt ( $\mu\text{V}$ ). Die Frequenzen werden dabei in delta (0,5-3,5 Hz), theta (4-7 Hz), alpha (8-12 Hz), beta (12-30 Hz) und gamma (28-80 Hz) unterteilt, wobei hierbei keine scharfen Grenzen bestehen (Bos 2006, Güntekin und Başar 2014).

##### **3.3.1. Funktionen der etablierten Frequenzbänder**

Eine delta-Band Aktivität kann u.a. während des Tiefschlafes beobachtet werden. EEG-Studien unterstützen zudem die Vorstellung, dass delta Oszillationen wichtig für kognitive Prozesse wie Entscheidungsfindung, Wahrnehmung und Aufmerksamkeit sind (Aydin et al. 2016, Güntekin und Başar 2014, Güntekin und Başar 2016).

Theta-Band Aktivität kann zum einen bei Schläfrigkeit aufgezeichnet werden (Aydin et al. 2016), zum anderen wird der theta Frequenzbereich als sog. Fingerabdruck aller Strukturen des limbischen Systems betrachtet. Es wird vermutet, dass Ereignis-korrelierte theta-

### 3. Theoretische Grundlagen der Messmethoden

Oszillationen eine Rolle bei Aufmerksamkeits-, Gedächtnis- und kognitiven Prozessen spielen (Güntekin und Başar 2014).

Niedrige Frequenzen im Bereich ca. 0,5-7 Hz scheinen demnach mit Motivations- und Emotionsprozessen assoziiert zu sein (Knyazev et al. 2009).

Eine alpha-Band Aktivität ist über dem visuellen Kortex vorherrschend, wenn das Individuum die Augen geschlossen hat und verschwindet, sobald die Augen geöffnet werden. Aber auch bei geöffneten Augen findet sich eine alpha-Aktivität, die ihr Maximum bei innerer Ruhe und Gelassenheit erreicht, wie bspw. in Situationen ohne fokussierte Aufmerksamkeit (Aydin et al. 2016, von Stein und Sarnthein 2000). Einige EEG-Studien unterstützen die Hypothese, dass alpha Aktivität sowohl eine automatische als auch eine kontrollierte selektive Inhibition von Aufgaben irrelevanten Gehirnregionen widerspiegelt (Uusberg et al. 2013). Eine über dem frontalen Kortex erfasste Ereignis-korrelierte alpha-Oszillation scheint die Inhibition von Aufgaben relevanten Regionen zu reflektieren (Parvaz et al. 2012). Zudem konnte in Studien gezeigt werden, dass eine alpha-Band Aktivität vom Kortex selbst generiert wird.

Niedrige Frequenzen im Bereich von ca. 0,5-12 Hz scheinen komplexe kortiko-kortikale Interaktionen widerzuspiegeln, die auf sog. Top-down Prozessen beruhen (von Stein und Sarnthein 2000).

Beta-Band Aktivität ist bei aktiven Gedankenprozessen oder kognitiver Konzentration zu beobachten und gilt als Marker erhöhter Wachsamkeit (Aydin et al. 2016).

Eine gamma-Band Aktivität spiegelt nicht nur das Erkennen und die bewusste Verarbeitung sensorischer Stimuli wider, sondern scheint auch mit Verarbeitungsprozessen von Emotionen assoziiert zu sein (Aydin et al. 2016, Knyazev et al. 2009).

#### **3.3.2. Die EEG-Komponenten P3 und LPP**

In der Literatur findet man eine Assoziation von Stimulus Evaluation, Ziel Identifikation und anderen Erkennungsprozessen mit positiven EKP Komponenten wie z.B. P3 (Cuthbert et al. 2000). Die P3 oder auch als P300-Welle bezeichnete Komponente ist ein positiver Ausschlag (Positivität) bei Ereignis-korrelierten Potentialen des menschlichen Gehirns, der, über parietozentral gelegenen Elektroden abgeleitet, am höchsten ist. Die P300-Welle ist nur ersichtlich, wenn sich eine Person aktiv einer Aufgabe zuwendet und einen informativen aufgabenspezifischen Stimulus entdeckt. Eine typische Spitzenlatenz, wenn ein junger Erwachsener eine einfache Diskriminationsaufgabe macht, sind 300 ms. Der intrakranielle Ursprung der P300-Welle ist nicht bekannt, ebenso wenig ihre Rolle bzw. Funktion.

### 3. Theoretische Grundlagen der Messmethoden

Die P300-Welle könnte viele intrakranielle Generatoren haben und den Transfer von Informationen zum Bewusstsein widerspiegeln (Picton 1992, Rogers et al. 1991).

Eine Komponente des EKPs, die mit dem Bereich der Emotionen in Verbindung zu stehen scheint, ist das LPP (*late positive potential*) (Cuthbert et al. 2000). Immer wieder zeigen Studien, dass ein erhöhtes LPP bei der Verarbeitung von angenehmen und unangenehmen Bildern im Vergleich zu neutralen Bildern entsteht. Modulationen des LPPs in diesem Bereich korrelieren auch mit physiologischen Markern emotionaler Erregung. Hinsichtlich der zugrundeliegenden Neuroanatomie erhöhter LPPs als Antwort auf affektive Stimuli wird angenommen, dass das LPP die Aktivität supramodaler Hirnareale, wie die Amygdala und verteilte kortikale Regionen, repräsentiert (Tiedt et al. 2014).

#### **3.4. Vergleich MEG und EEG**

Ionenströme, die mit einer elektrischen Aktivität des Gehirnes assoziiert sind, lassen sich zum einen mit der EEG erfassen, zum anderen aber auch mit der MEG, da diese Ionenströme ein schwaches Magnetfeld generieren (Ueno und Iramina 1990).

Die elektrischen Potentiale, die von der EEG gemessen werden, sind Feldpotentiale oder sog. Volumenströme, die relativ leicht durch die Dura, den Schädel oder die Kopfhaut abgeschwächt, abgelenkt oder verzerrt werden können, wohingegen die Magnetfelder durch diese Strukturen nicht beeinflusst werden (Sato et al. 1991).

Unter der Annahme, dass der Kopf idealisierter Weise als System konzentrischer Kugelschalen und die Stromquelle als Dipol betrachtet werden, lassen sich verschiedene Aussagen im Hinblick darauf treffen, dass MEG und EEG unterschiedliche Informationen liefern. Die Theorie besagt, dass kein Magnetfeld über der Kopfhaut zu verzeichnen ist, sobald der Dipol radial zur Kopfhaut ausgerichtet ist. Solche radialen Dipole sind meist in den *Gyri* zu finden. Nur ein Dipol, der tangential orientiert ist, erzeugt auch ein MEG-Signal. Solche tangentialen Dipole finden sich meist in den *Sulci*. Mithilfe der MEG werden folglich tangentielle Quellen detektiert, wohingegen die EEG sowohl radiale als auch tangentielle Dipole erfasst. Allerdings besteht die Möglichkeit, dass starke radiale Quelle eine tangentielle dominiert und maskiert. Radiale Quellen neigen dazu, das EEG zu dominieren, da die *Gyri* näher zu den EEG-Elektroden liegen.

Da das Magnetfeld und das elektrische Feld senkrecht zueinanderstehen, folgt, dass das MEG eine tangentielle Quelle besser in seiner y-Richtung lokalisiert, während das EEG eine bessere Lokalisation in x-Richtung liefert. Außerdem zeigt eine Studie mit ins menschliche Gehirn

### 3. Theoretische Grundlagen der Messmethoden

implantierten Dipolen, dass das MEG mit 8 mm eine höhere Genauigkeit aufweist als das EEG mit 10 mm (Cohen und Halgren 2003).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das MEG und EEG unterschiedliche Informationen bzgl. der zugrundeliegenden neuronalen Aktivität liefern und dass dadurch eine Kombination beider Messverfahren für ein Maximum an Informationen über die untersuchte Aktivität sorgt (Nowak et al. 1999).

Jedoch sind weitere Unterschiede zu erwähnen, die mehr von praktischer Natur sind. So rufen magnetische Materialien, die sich im Probanden befinden, wie bspw. magnetischer Zahnersatz, große interferierenden magnetische Signale hervor. Diese Problemstellung findet sich bei der EEG nicht. Allerdings kann bei der EEG von Nachteil sein, dass die Elektroden der EEG Haube zur Verringerung des Widerstandes mit Elektrolytpaste aufgefüllt werden müssen und dadurch unterschiedliche Leitungsfähigkeiten des Kopfes resultieren, was bei der MEG nicht der Fall ist (Cohen und Halgren 2003, Nowak et al. 1999).

## 4. Fragestellungen und Hypothesen

Die EEG hat sich bereits als eine häufig angewandte Methode im Bereich der neurophysiologischen, neuropsychologischen und neuroanatomischen Untersuchungen neben der klinischen Diagnostik etabliert. So zeigt eine Vielzahl an EEG-Studien unter der Verwendung von *IAPS* Bildern (Lang et al. 2008), dass sich Unterschiede in der emotionalen Verarbeitung für die drei Kategorien angenehm, neutral und unangenehm sowohl in verschiedenen Zeitspannen (Cuthbert et al. 2000, Keil et al. 2002, Bradley et al. 2007, Aftanas et al. 2002), als auch in verschiedenen Frequenzbänder zeigen (Aftanas et al. 2001, Woodruff et al. 2011, Martini et al. 2012, Güntekin und Başar 2014, Aydin et al. 2016). Aber auch mit Hilfe der MEG können visuell evozierte Felder nicht invasiv abgebildet und somit die kortikale emotionale Expression untersucht werden, wie bspw. Dumas et al., die allerdings ausschließlich Gesichter als Stimuli verwendeten (Dumas et al. 2013).

Ziel dieser Studie war es, folgende Fragestellungen zu beleuchten:

- I. Zeigen sich Unterschiede in der emotionalen Verarbeitung von Bildern der drei Kategorien angenehm, neutral und unangenehm in Hinblick auf die EKF in
  - a. den Frequenzbändern delta, theta, alpha, beta und gamma
  - b. verschiedenen Zeitfenstern von 0 bis 400 ms nach Bildpräsentation oder in
  - c. Bezug auf die Dimension Erregung (*arousal*) in einem bestimmten Kortexareal
- II. Inwiefern unterscheiden sich die Bewertungen der *IAPS*-Bilder in den drei Dimensionen Wertung (*valence*), Erregung (*arousal*) und Dominanz (*dominance*) durch die Studienteilnehmer verglichen mit den Referenzbewertungen
- III. Lässt sich trotz der Konfundierung von kulturellen und soziologischen Einflüssen des Medienkonsums eine Habitualisierung gegenüber gewaltzeigenden Bildinhalten feststellen
- IV. Finden sich Zusammenhänge in den drei Bewertungsdimensionen Wertung (*valence*), Erregung (*arousal*) und Dominanz (*dominance*)

Daraus ergeben sich folgende Hypothesen:

- I. Die emotionale Verarbeitung von Bildern der drei Kategorien angenehm, neutral und unangenehm unterscheidet sich in der *Power* sowohl in den Frequenzbändern als auch in der Dimension Erregung (*arousal*) über einem bestimmten Kortexareal

## 5. Methodik

- II. Die subjektiven Bewertungen differieren aufgrund des aus dem letzten Jahrhundert stammenden Bildmaterials und der damit einhergehenden emotionalen Distanzierung
- III. Aufgrund des Einflusses der Massenmedien und der damit postulierten Habitualisierung gegenüber violenten Inhalten zeigen sich sowohl höhere Bewertungen in der Kategorie Wertung, als auch niedrigere Bewertungen in der Kategorie Erregung/Aufregung der subjektiven Bewertungen zur heutigen Zeit verglichen mit denen Ende des letzten Jahrhunderts in Hinblick auf das als unangenehm katalogisierte *IAPS* Bildmaterial
- IV. Die drei Bewertungskategorien hängen miteinander zusammen: Eine niedrige Wertung geht mit einer hohen Erregung/Aufregung und einer niedrigen Dominanz einher, während eine hohe Wertung mit einer hohen Erregung/Aufregung und einer hohen Dominanz vergesellschaftet ist.

Die vorliegende Studie sollte auf diesem Wege auch zur weiteren Etablierung der MEG als Messmethode beitragen.

## 5. Methodik

### 5.1. Stichprobe

An der vorliegenden Studie nahmen insgesamt 24 Frauen und Männer im Alter 19 bis 51 Jahren teil, wobei 4 Studienteilnehmer bereits frühzeitig aufgrund von Modifizierungen am Untersuchungsparadigma und 2 Studienteilnehmer nach der Vorverarbeitung der Daten aufgrund ferromagnetisch induzierter Artefakte ausgeschlossen wurden. Die Auswertung der MEG- und EEG-Datensätze umfasst folglich 18 Versuchspersonen, im Alter von 19 bis 32 Jahren (Mittelwert: 26,72 Jahre, Standardabweichung: 3,97 Jahre), 11 Frauen und 7 Männer. Einschlusskriterien zum Zeitpunkt der Untersuchung stellten die Volljährigkeit und keine relevanten Vorerkrankungen, insb. keine neurologischen oder psychiatrischen Erkrankungen dar. Zudem wurde darauf geachtet, dass die Studienteilnehmer möglichst keine ferromagnetischen Materialien am oder im Körper aufweisen, wie z.B. nicht herausnehmbare Piercings, Retainer, Zahnspangen oder Nägel und Platten nach Operationen. Vor Beginn dieser Studie wurde von der Ethikkommission der Friedrich-Schiller-Universität Jena die Erlaubnis zur Durchführung



der Untersuchungen eingeholt. Die Versuchspersonen wurden für ihre Teilnahme mit einer Aufwandsentschädigung von insgesamt 20,00 € vergütet.

### **5.2. Visuelle Stimuli (IAPS) und das Bewertungsverfahren (SAM)**

In dieser Studie wurden visuelle Stimuli in Form von Bildern verwendet, um unter Studienbedingungen verschiedene emotionale Zustände hervorzurufen und die emotionale Verarbeitung mittels der MEG und EEG zu erfassen. Insgesamt wurden 180 Bilder aus dem *IAPS* (*International Affective Picture System* (Lang et al. 1997)) ausgewählt, jeweils 60 Bilder aus der Kategorie angenehm (*pleasant*), neutral (*neutral*) und unangenehm (*unpleasant*). Die entsprechenden *IAPS* Nummern finden sich im Anhang (9.2.). In der Kategorie angenehm sind z.B. Bilder von Familien, Babys oder erotische Liebespaare zu sehen, wohingegen die Kategorie unangenehm u.a. durch Bilder von Unfällen, Verstümmelungen oder Leichen repräsentiert wird. Alltägliche Gegenstände wie Teller, Besteck oder Stühle stellen die neutrale Komponente dar. Für die vorliegende Studie wurden die 180 ausgewählten *IAPS* Bilder auf drei Durchgänge pseudorandomisiert verteilt, wobei jeder Durchgang aus jeweils 20 Bildern der Kategorien angenehm, neutral und unangenehm besteht. Für die MEG und EEG Untersuchung wurde dem Studienteilnehmer jedes Bild 6000 ms lang auf einer ca. 100 cm entfernten weißen Aufstellwand präsentiert. Das Interstimulusintervall (ISI) lag im Bereich von 2000 ms bis 6000 ms. Bei dieser Untersuchung bestand die Aufgabe der Versuchspersonen darin, jedes gezeigte Bild auf sich wirken zu lassen und während der variablen Zeit des schwarzen Bildschirms das vorher gezeigte Bild zu erinnern und stets die Augen geöffnet zu haben. Bewegungen des Kopfes, der Extremitäten und des Rumpfes waren während der Messzeit eines jeden Durchganges zu vermeiden und Augenbewegungen so weit als möglich zu verringern. Auf die kurzen Entspannungsphasen während der Datenspeicherung zwischen den Durchgängen wurden die Studienteilnehmer stets explizit über Lautsprecher seitens des Versuchsleiters informiert.

Im zweiten Teil dieser Studie bestand die Aufgabe der Probanden darin, jedes einzelne der zuvor im MEG gesehenen *IAPS* Bilder mit Hilfe der *SAM* Figuren nach den drei Kategorien Wertung, Erregung/Aufregung und Dominanz zu bewerten. Hierfür erschien jedes Bild wiederum 6000 ms auf einem ca. 110 cm vor dem Probanden befindlichen Bildschirm, gefolgt von den *SAM* Figuren. Das Interstimulusintervall lag hierbei zwischen 2000 ms und 4000 ms. Die Instruktionen an die Studienteilnehmer finden sich im Anhang (10.3.).

### 5.2.1. International Affektive Picture System (*IAPS*)

Das *IAPS* wurde von dem *NIMH Center of Emotion (CSEA)*, Universität Florida, entwickelt, um ein breites Spektrum an emotional-evokativen, international zugänglichen, farbigen Photographien zu haben. Dieses standardisierte Material, das allen Forschern zur Verfügung gestellt wird, ermöglicht international vergleichbare Studien im Bereich Emotionen und Aufmerksamkeit. Die Bilder wurden im erwachsenen Bereich über Jahrzehnte hinweg an College Studenten statistisch hinsichtlich der drei Dimensionen Wertung, Erregung/Aufregung und Dominanz untersucht (Lang et al. 1997, Lang et al. 2008).

Als Bewertungssystem wurde hierbei das *Self-Assessment-Manikin (SAM)* verwendet (Bradley und Lang 1994), das im nächsten Abschnitt näher beleuchtet wird. Jedes der untersuchten Bilder erhielt eine Nummer und wurde entsprechend der Mittelwerte und Standardabweichung katalogisiert. Die *IAPS* Stimuli sind auf der Basis von Bewertungen in den Kategorien Wertung und Erregung/Aufregung standardisiert (Lang und Bradley 2007).

### 5.2.2. Self-Assessment Manikin (*SAM*)

Das *SAM* ist ein nonverbales, bildhaftes Bewertungsverfahren, das direkt die Wertung, Erregung und Dominanz misst, assoziiert mit einer affektiven Reaktion einer Person (Bradley und Lang 1994). Hierbei lässt sich *SAM* in Hinblick auf ein breites Feld von Stimuli anwenden, wie visuelle Stimuli in Form von Bildern, entsprechend dieser Studie, aber auch akustische in Form von Tönen (Bradley und Lang 2007). Zudem ist es von großem Nutzen, dass es nonverbal ist, da es somit zum einen auch bei nicht Englisch sprechenden Nationen, ohne Übersetzung und erneuter Validation, zum anderen aber auch bei Populationen zur Anwendung kommen kann, die sprachlich nicht so gewandt sind, wie bspw. Kinder (Bradley und Lang 1994).

Bei diesem Bewertungssystem, das 1980 von Lang entwickelt worden war, illustriert eine graphische Figur für jede der drei Dimensionen eine kontinuierliche Skala, wobei jeweils die Gemütslage des Betrachters abgebildet ist.

In der Dimension Wertung reicht *SAM* von einer lächelnden, glücklichen Figur bis zu einer düster dreinblickenden, unglücklichen Figur.

Für die Dimension Erregung/Aufregung bildet *SAM* die Abstufungen einer aufgeregten Figur mit weit aufgerissenen Augen bis zu einer entspannten, müden Figur ab.

In der Dimension Dominanz reicht *SAM* von einer kleinen Figur (dominiert) zu einer großen Figur (in Kontrolle). Der Proband kann dabei zum einen jede der fünf abgebildeten Figuren

## 5. Methodik

wählen, zum anderen aber auch den Bereich zwischen zwei Figuren. Dadurch ergibt sich eine 9-Punkte Skala für jede Bewertungsdimension, wobei die Zahl 9 jeweils die höchste Bewertung in der jeweiligen Kategorie widerspiegelt: Höchste Wertung, höchste Erregung/Aufregung, höchste Dominanz. Die Zahl 1 repräsentiert folglich jeweils das Gegenteil (Lang et al. 2008).

Abb. 1 illustriert die verwendeten *SAM*-Figuren als Zeichnung. Für die Wertung (obere *SAM*-Figuren) und die Erregung/Aufregung (mittlere *SAM*-Figuren) ergibt sich folgende Skalenrichtung von links nach rechts: 9 (höchste Wertung, höchste Erregung/Aufregung) bis 1 (niedrige Wertung, niedrige Erregung/Aufregung). Für die Dominanz (untere *SAM*-Figuren) ist die Skalenrichtung wie folgt, von links nach rechts: 1 (niedrige Dominanz) bis 9 (höchste Dominanz).

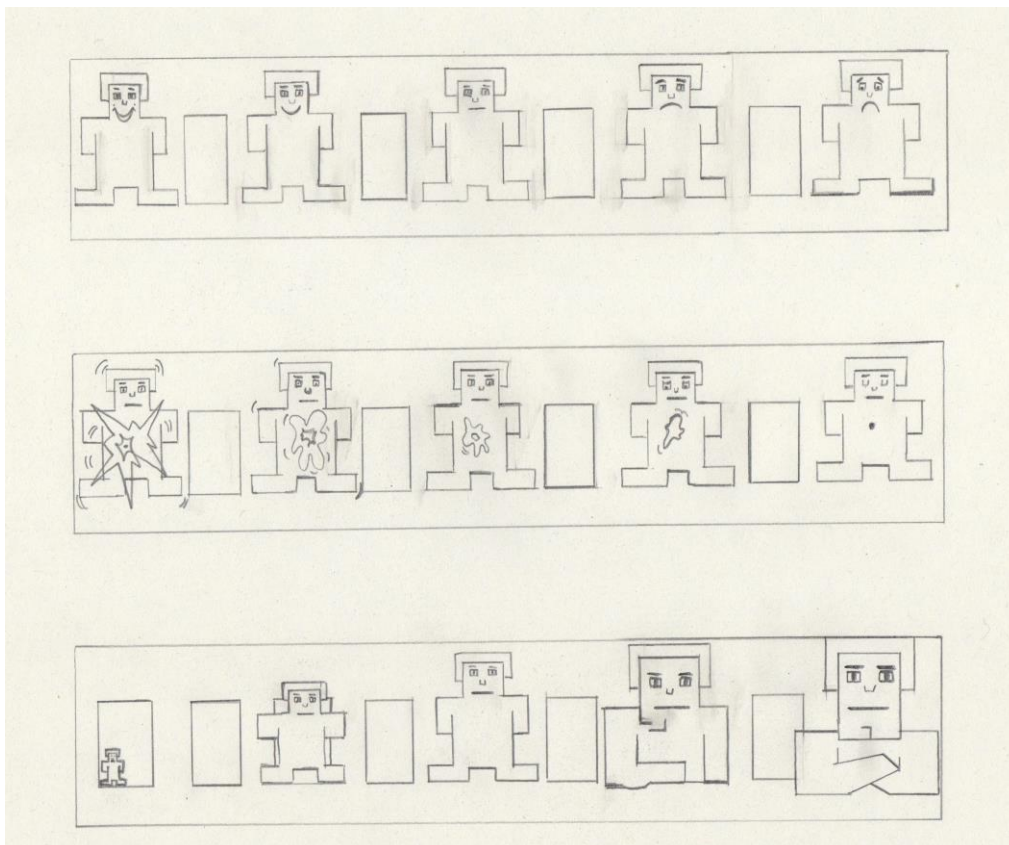


Abb. 1: *SAM*-Figuren, Zeichnung von Sandra Heginger nach der Vorlage von (Lang et al. 2008). Oben sind die *SAM*-Figuren in der Dimension Wertung, in der Mitte die *SAM*-Figuren in der Dimension Erregung/Aufregung und unten die *SAM*-Figuren in der Dimension Dominanz dargestellt

### **5.3. Technischer Aufbau und Materialien**

#### **5.3.1. MEG-Messung**

Die MEG-Messung wurde mit einem 306-Kanal Ganzkopf-MEG-System der Firma Elekta Neuromag® (Vektorview, Elekta Neuromag®, Oy, Helsinki, Finnland) durchgeführt. Das Messsystem besteht aus 102 Elementen mit jeweils einem Magnetometer und zwei orthogonalen Gradiometern. Die Kanäle u.a. zur Erfassung des EEGs, EKGs, EOGs und des Atemflusses sind im Ganzkopf-MEG-System integriert. Da neuromagnetische Felder im Vergleich zu städtischen magnetischen Störungen sehr schwach sind, bestehen für Untersuchungen zwei Möglichkeiten der Reduzierung dieser magnetischen Störfelder. Zum einen die Verwendung von Gradiometern 1. Ordnung, die den Unterschied zwischen zwei Punkten messen und dadurch zur Reduktion von Störungen durch ein homogenes Magnetfeld führen. Zum anderen reduzieren großflächige magnetische Abschirmungen aus ferromagnetischen Metall, das eine hohe Permeabilität aufweist, oder auch leitfähige Schalen aus Aluminium oder Kupfer das magnetische Störfeld der Umgebung (Nowak et al. 1999). Die Messungen für die vorliegende Studie fanden im magnetisch abgeschirmten Raum des biomagnetischen Zentrums in Jena statt.

#### **5.3.2. EEG-Messung**

Für die EEG-Messung wurde eine EEG Haube der Firma eemagine Medical Imaging Solutions GmbH, Größe S oder M, je nach Kopfumfang des Studienteilnehmers, Modell Wave Guard EEG Cap, verwendet. Diese EEG Haube verfügt über 60 Elektroden, angeordnet nach dem 10-20 System, die mit dem Elektrodengel OneStep® Cleargel, der Firma H+H Medizinprodukte GbR, aufgefüllt wurden. Zum Aufzeichnen der Augenbewegungen und der Herzaktivität kamen insgesamt 6 Einzelelektroden zum Einsatz. Vor dem Kleben dieser Elektroden wurden die dafür vorgesehenen Hautareale zuerst mit Desinfektionsmittel Softasept® N, Ethanol 74,1 % und 2-Propanol (Ph.Eur.) 10,0 %, der Firma BRAUN desinfiziert und anschließend mit Elektrodengel OneStep® Abrasiv Plus, der Firma H+H Medizinprodukte GbR behandelt. Für die 6 einzelnen Elektroden wurden gesinterte Ag/AgCl-Elektroden verwendet, die die magnetischen Messungen nicht beeinflussen. Diese wurden mit der Elektrodenpaste Ten20® Conductive Neurodiagnostic Electrode Paste, der Firma Weaver and Company befüllt. Zum Erfassen der Atmung diente ein nasaler Atemflusssensor Model 8000 S M, der Firma Nonin® Medical. Inc., Plymouth, NM, U.S.A.

### 5.4. *Versuchsablauf und Aufgabenstellung*

Die vorliegende Studie untergliedert sich in zwei Teile, wobei beide an einem Tag direkt nacheinander im Biomagnetischen Zentrum, Abteilung der Klinik für Neurologie, Universitätsklinikum Jena, durchgeführt wurden.

Im ersten Teil der Studie wurden simultan MEG und EEG aufgezeichnet, im anschließenden zweiten Teil fand die subjektive Bewertung der Bilder mit einer Videoaufzeichnung des Gesichtes statt. Vor Beginn der Durchführung der Untersuchungen wurden die Studienteilnehmer über die Freiwilligkeit der Teilnahme, den Ablauf, die Hintergründe und allgemeine Zielsetzung der Studie mündlich aufgeklärt und nach Klären von Rückfragen um eine schriftliche Einwilligung angehalten. Zudem wurden vor bzw. nach den jeweiligen Untersuchungen Fragebögen von den Versuchspersonen u.a. bzgl. ihrer aktuellen Stimmungslage, der Neigung zu verschiedenen Filmkategorien, dem aktuellen Beruf und zu der Frage, ob Blut gesehen werden könne, beantwortet.

Die erhobenen Fragebögen und die Einverständnis- und Aufklärungsformulare finden sich im Anhang (10.2. Formulare/10.4. Fragebögen).

#### 5.4.1. MEG und EEG Untersuchung

Der Studienteilnehmer wurde darum gebeten, alle ferromagnetischen Materialien abzulegen, soweit dies möglich war und die bereitgestellte bequeme Einheitskleidung für den Zeitraum der Messung anzuziehen. Nachdem der Proband auf einem Holzstuhl, der nachfolgend als Messsender dient, Platz genommen hatte, wurde zuallererst Cz bestimmt, indem der jeweilige Mittelpunkt der Strecke zwischen Nasion und Inion bzw. zwischen beiden *Articulatioes temporomandibulares* (lat. für Kiefergelenk) auf der Kopfhaut markiert wurde. Nachfolgend wurde der Kopfumfang bestimmt, um die passende Größe der EEG Haube zu ermitteln. Um den Kontakt der einzelnen Elektroden der EEG Haube mit der Kopfhaut zu optimieren und die Widerstände zu verringern, wurden die Elektroden anschließend mittels einer 10 ml Spritze mit stumpfer Kanüle mit Elektrodengel aufgefüllt. Die beiden freien Elektroden  $L_{\max}$  und  $R_{\max}$  wurden auf die jeweilige Wange geklebt und ebenfalls mit Paste aufgefüllt. Um Artefakte durch Augenbewegungen von den gewünschten Messdaten bei der Auswertung zu identifizieren, wurden der Versuchsperson insgesamt 4 Elektrookulographie (EOG)- Elektroden geklebt. Ein Elektrodenpaar für die horizontalen Augenbewegungen (HEOG), wobei sich jeweils eine Elektrode temporal des rechten und linken Auges befand. Für die vertikalen (VEOG) Augenbewegungen wurde jeweils eine Elektrode kranial und kaudal des linken Auges

## 5. Methodik

platziert. Da auch die Herzaktivität Artefakte verursacht, wurde zusätzlich durch zwei Elektroden, eine im 2. Interkostalraum rechts medioklavikulär, die andere im 5. Interkostalraum medioklavikulär, eine 1-Kanal-Elektrokardiographie (EKG) aufgezeichnet. Anschließend wurden 4 Positionsspulen mittels Klebebandes auf der EEG Haube befestigt, so dass diese ein möglichst großes Rechteck bilden. Nachdem dem Studienteilnehmer eine Messbrille, die als Referenz dient, aufgesetzt und eine möglichst metallfreie Umgebung geschaffen wurde, erfolgte mittels eines 3D-Digitalisierer die Erfassung der drei anatomischen Landmarken Nasion und die Mitte des *Cavum conchae* beidseits. Anschließend wurden die vier Positionsspulen, die EEG-Elektroden nach einem vorgegebenen Schema, die Kopfform durch jeweils drei sagittal und horizontal verlaufend gedachte Linien und schließlich der Nasenrücken und die Stirn aufgezeichnet. Während dieses Digitalisierungsprozesses war der Studienteilnehmer dazu angehalten, aufrecht zu sitzen und sich nicht zu bewegen. Die damit registrierten Koordinationsdaten ermöglichen hinterher eine Transformation der MEG-Daten in ein Bild der MRT. Danach durfte sich der Proband in den in der Messkammer befindlichen Stuhl setzen, wurde mit Hilfe eines Erdungsbandes geerdet und schließlich an die Messvorrichtung angeschlossen (siehe Abb. 2).



*Abb. 2: Blick auf eine Studienteilnehmerin, die in Einheitsklamotten auf dem Stuhl im MEG-Messraum des Biomagnetischen Zentrums, UKJ, sitzt. Sie ist bereits mit EEG-Haube, EKG- und EOG-Elektroden, Atemsensor und Erdungsband ausgestattet und an die Elekta Neuromag® angeschlossen. Foto: Sandra Heginger*

## 5. Methodik

Nach der Erfassung und Optimierung von Artefakt behaftete EEG-Elektroden, wurde der Studienteilnehmer mit dem Stuhl optimal im Elekta Neuromag® positioniert. Mit Hilfe hölzerner Fußvorrichtungen wurde nun zum einen eine angenehme Sitzposition erreicht, zum anderen aber auch präventiv gegen ein mögliches nach unten Gleiten aus dem Stuhl vorgegangen. Anschließend wurde die als Bildschirm dienende weiße Wand vor dem Probanden ausgerichtet und der Sensor mittels eines speziell dafür vorgesehenen Paradigmas richtig positioniert. Nach Klären von evtl. Rückfragen und erneutem Daraufhinweisen, sich nicht mehr zu bewegen und Augenbewegungen so gering wie möglich zu halten, wurde nun das Untersuchungsparadigma und die Messung gestartet. Zu allen Zeitpunkten bestand die Möglichkeit einer Kommunikation zwischen Probanden und Versuchsleiter über Mikrofon und Lautsprecher.

### 5.4.2. Subjektive Bewertung der Bilder mit Videoaufzeichnung des Gesichtes

Der zweite Teil dieser Studie fand im EEG-Labor des Biomagnetischen Zentrums statt. Der Proband saß hierfür in einem Stuhl, vor ihm ein Computerbildschirm im Abstand von ca. 110 cm, auf dem die zuvor bereits gesehenen 180 *IAPS* Bilder in derselben Reihenfolge präsentiert wurden. Die Aufgabe bestand nun darin, jedes gezeigte Bild nach den drei Bewertungsdimensionen Wertung, Erregung/Aufregung und Dominanz zu bewerten.

Nach der theoretischen Erklärung der *SAM* Figuren, konnte der Studienteilnehmer das Bewerten anhand dreier Übungsbilder, die nicht Bestandteil der Studie waren, üben und währenddessen bzw. im Anschluss aufkommende Fragen mit dem Versuchsleiter klären. Die jeweilige Bewertung war mit dem Feedback der Versuchsperson gekoppelt, d.h. nachdem mittels der Tastatur in der Dimension Wertung abgestimmt wurde, folgten die *SAM* Figuren für die Dimension Erregung/Aufregung und anschließend für die Dominanz.

Während des Bewertens fand eine Videoaufzeichnung des Gesichtes statt, deren Auswertung von zwei anderen Arbeitsgruppen vorgenommen wird. Zum einen widmet sich eine Arbeitsgruppe aus dem Institut für Psychosoziale Medizin und Psychotherapie, UKJ, der wissenschaftlichen Untersuchung der Interaktion zwischen Patienten und Therapeut. Zum anderen erarbeitet eine Arbeitsgruppe der Fakultät für Mathematik und Informatik/Lehrstuhl Digitale Bildverarbeitung, FSU Jena, Algorithmen für die automatische Bildanalyse von Gesichtsbewegungen.

Nach diesem Teil der vorliegenden Studie gab es für jeden Studienteilnehmer einen Datensatz mit je drei Bewertungen zu jedem der 180 gezeigten *IAPS* Bilder mit folgender Skalenrichtung:

## 5. Methodik

- Für die Dimension Wertung: 1 angenehm – 7 unangenehm
- Für die Dimension Erregung/Aufregung: 1 hohe Erregung/Aufregung – 7 niedrige Erregung/Aufregung
- Für die Dimension Dominanz: 1 dominiert – 7 dominant

### ***5.5. Datenauswertung und Statistische Analysen***

#### **5.5.1. MEG und EEG Datensätze**

##### **5.5.1.1. Anwendung der Software-Funktion MaxFilter™**

Die gemessenen Rohdaten (\*.fif Format) wurden mithilfe der Software-Funktion MaxFilter™ (Elekta Neuromag®, Oy, Helsinki, Finnland) gefiltert, wodurch magnetische Interferenzen und Artefakte entfernt wurden. Der MaxFilter™ basiert auf der SSS (*Signal Space Separation*) Methode, wodurch eine Unterscheidung von interessanten biomagnetischen, innerhalb des Messvolumens liegenden, und interferierenden, außerhalb des Messvolumens liegenden, Quellen getroffen werden kann. Auch Kopfbewegungen können dadurch kompensiert werden (Taulu und Kajola 2005).

##### **5.5.1.2. Vorverarbeitung**

Zur Anwendung kamen die Computersoftware MATLAB® R2017a bzw. R2014a und FieldTrip, die MATLAB®-Software Toolbox zur Analyse von MEG, EEG oder andere elektrophysiologischen Daten. Die FieldTrip Toolbox bietet fortschrittliche Analysemethoden für MEG, EEG und invasive elektrophysiologische Daten, wie z.B. Zeit-Frequenz-Analyse, Quellenrekonstruktion mit Dipolen und nicht-parametrische statistische Tests. FieldTrip beinhaltet Funktionen, die zum Erstellen von eigenen Analyse-Protokollen in MATLAB® genutzt werden können. FieldTrip ist kein Programm, sondern eine Sammlung von Funktionen (Oostenveld et al. 2011). Die Funktionen lassen sich in folgende Hauptgruppen einteilen:

- Funktionen zum Vorverarbeiten, Lesen und Konvertieren der Daten (z.B. ft\_preprocessing)
- Funktionen zum Analysieren Ereignis-korrelierter Felder (EKF) oder Potentiale (EKP) (z.B. ft\_timelockanalysis)
- Funktionen zur Frequenz- und Zeit-Frequenz-Analyse (z.B. ft\_freqanalysis)



## 5. Methodik

- Funktionen zur Quellen-Analyse (z.B. `ft_sourceanalysis`)
- Funktionen für statistische Analysen (z.B. `ft_timelockstatistics`)
- Funktionen zum Zeichnen und Darstellen der Daten (z.B. `ft_multiplotER`)
- Funktionen zur Echtzeiterfassung und -analyse (z.B. `ft_realtime_average`)

Jede FieldTrip Funktion führt einen spezifischen Algorithmus aus, für den bestimmte Parameter angegeben werden können (<http://www.fieldtriptoolbox.org/tutorial/introduction>).

Die bereits gemaxfilterten Daten (\*`sss_trans*.fif` Format) wurden anschließend Bandpass-gefiltert (1 - 80 Hz). Zudem wurde die Zeitspanne von 1000 ms vor Stimulusbeginn bis zu 2000 ms nach Stimulusbeginn extrahiert.

**Jump-Artefakt Verwerfung:** Die Datensätze wurden nun hinsichtlich physikalischer Artefakte untersucht: *SQUID* Jump-Artefakte wurden mithilfe der Funktion `ft_artifact_jump` identifiziert und anschließend mit der Funktion `ft_rejectartifact` verworfen.

**Veränderung der Abtastrate (Downsampling):** Mittels der Funktion `ft_resampleddata` wurde die Frequenz, mit der die Daten neu abgetastet werden, auf 250 Hz festgelegt, um die nächsten Schritte zu beschleunigen.

**Ft\_appenddata:** Die MEG- und EEG-Messung teilte sich in drei nacheinander ablaufenden Durchgängen, pro Durchgang wurden 60 *IAPS* Bilder präsentiert und jeder Durchgang einzeln abgespeichert. Dadurch ergaben sich für jeden Studienteilnehmer drei Datensätze, jeder bestehend aus 60 Trails. Nun wurden alle drei Datensätzen, die zuvor separat vorverarbeitet wurden, mithilfe der Funktion `ft_appenddata` zu einem einzigen Datensatz ( $3 \times 60 = 180$  Trails) für jeden Studienteilnehmer kombiniert.

**Identifizierung schlechter Trails/Kanäle:** Mittels der Funktion `ft_rejectvisual` (siehe Abb. 3), die die vorverarbeiteten Daten in allen Kanälen und Trails zeigt, wurde separat für die 60 EEG-Kanäle (Kanäle 307-366) und die 306 MEG-Kanäle (Kanäle 1-306) eine visuelle Selektion vorgenommen. Anschließend wurden die schlechten Trails bzw. Kanäle mittels der Funktion `ft_databrowser` separat überprüft. Diese Funktion erlaubt eine visuelle Inspektion der Datensätze, da die zuvor manuell detektierten Artefakte (hier mit `ft_rejectvisual`) markiert werden.

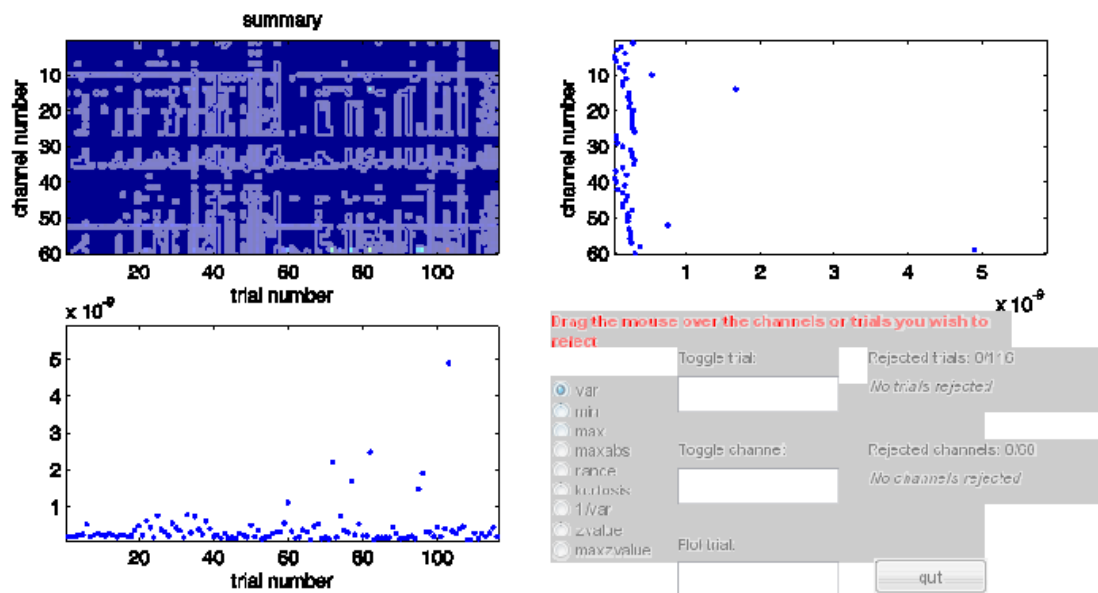


Abb. 3: Ein Beispiel zur Verwendung der Funktion `ft_rejectvisual`

**Löschen schlechter Trails/Kanäle:** Nach der visuellen Selektion schlechter Trails bzw. Kanäle und erneuter Überprüfung, wurden diese entsprechend aus den Datensätzen gelöscht.

**Automatische Artefakt-Detektion:** Artefakte im aufgezeichneten EKG und EOG wurden mittels einer automatischen Artefakt-Detektion ermittelt.

**Independent Component Analysis (ICA):** Im Anschluss wurde die ICA nacheinander für die MEG- und EEG-Daten mittels der Funktion `ft_componentanalysis`, die die Topographie und die Zeitverläufe der Komponenten berechnet, durchgeführt. Bei diesen Komponenten lassen sich zumeist Komponenten identifizieren, die mit Augenbewegungen oder der Herzaktivität in Verbindung stehen (siehe Abb. 4).

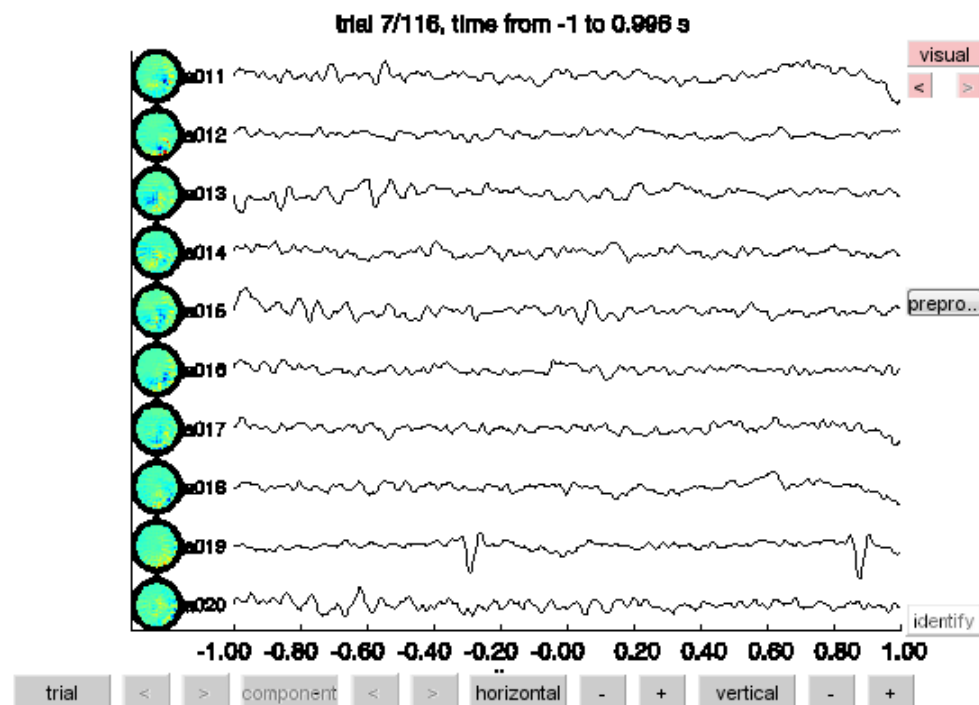


Abb. 4: Ein Beispiel für einen Ausschnitt der Independent Component Analysis (ICA) von einer Versuchsperson

Die *Independent Component Analysis (ICA)* stellt ein statistisches Verfahren dar, mit dem Ziel, eine lineare Darstellung von nicht-gaußähnlich-verteilten Daten zu finden, sodass die Komponenten dann statistisch unabhängig oder so statistisch unabhängig wie möglich sind. Eine solche Darstellung scheint die wesentliche Struktur der Daten in vielen Anwendungen zu erfassen, einschließlich Merkmalsextraktion und Signaltrennung. Die *ICA* wurde ursprünglich dafür entwickelt, um mit Problemen, die dem Cocktail-Party Problem sehr nahe sind, umzugehen. Beim Cocktail-Party Problem handelt es sich um folgende Problemstellung: Man sitzt in einem Raum, in dem mehrere Personen gleichzeitig reden und zwei Mikrofone die Gespräche in diesem Raum aufnehmen. Abhängig von der Position im Raum nehmen die Mikrofone bestimmte Signale  $x_1(t)$ ,  $x_2(t)$  auf, die wiederum den gewichteten Summen der ursprünglichen Signale  $s_1(t)$ ,  $s_2(t)$  entsprechen. Um aus einem daraus aufgestellten Gleichungssystem ( $x_1(t) = a_{11}s_1 + a_{12}s_2$  bzw.  $x_2(t) = a_{21}s_1 + a_{22}s_2$ ) die Ursprungssignale berechnen zu können, müssten Parameter ( $a_{11}$ ,  $a_{12}$ ,  $a_{21}$ ,  $a_{22}$ ) bekannt sein, die von der Distanz der beiden Mikrofone und Personen abhängen. Ist dies nicht der Fall und einem lediglich die Signale  $x_1(t)$ ,  $x_2(t)$  bekannt, können statistische Annahmen über die Signale angestellt werden, um dadurch die Ursprungssignale zu ermitteln. Bei der *ICA* reicht hierbei die Annahme, dass die beiden Signale statis-

## 5. Methodik

tisch unabhängig sind. Beispielsweise besteht ein EEG Datensatz aus aufgezeichneten elektrischen Potentialen von verschiedenen Lokalisationen auf der Kopfhaut. Diese Potentiale werden vermutlich durch Mischen einiger zugrundeliegender Komponenten der Gehirnaktivität erzeugt. Diese Konstellation entspricht dem Cocktail-Party Problem, da man die Originalkomponenten der Gehirnaktivität herausfinden möchte, aber nur eine Mischung der Komponenten beobachtet werden kann (Bergmeir 2005, Hyvärinen und Oja 2000).

**Entfernung der identifizierten Komponenten:** Nach der *ICA* wurden die dabei gefundenen Komponenten, die auf sichtbare Herzaktivität bzw. Bewegungen der Augen zurückzuführen sind, nach erneuter visueller Überprüfung aus dem jeweiligen Datensatz eines jeden Studienteilnehmers eliminiert (`ft_rejectcomponent`). Dies erfolgte separat für die MEG- und EEG-Daten.

**Kombination der EEG- und MEG-Datensätze:** Die beiden Datensätze, je ein Datensatz für die MEG und die EEG, wurden mithilfe `ft_appenddata` zu einem Datensatz pro Studienteilnehmer kombiniert.

**Erneutes Überprüfen auf schlechte Trails/Kanäle:** Nachdem die Datensätze kombiniert wurden, erfolgte eine erneute Untersuchung der Daten auf schlechte Trails bzw. Kanäle (`ft_rejectvisual` und `ft_databrowser`) und deren Entfernung.

**Selektion der Bewertungskategorie Wertung:** Die jeweiligen Bewertungen der *IAPS* Bilder durch die Studienteilnehmer wurden entsprechend der Skalenrichtung der Originaldaten für die Kategorie Wertung aus der Trail Info entnommen.

Dementsprechend wurden Bewertungen kleiner/gleich 3 als angenehm, Bewertungen größer 4 als unangenehm und Bewertungen gleich 4 als neutral definiert.

Diese Auswahl und Definition der Bewertungen für die Dimension Wertung erfolgte, um die Daten separat nach deren Wertung analysieren zu können.

Von Interesse sind bei den folgenden Analyse-Schritten u.a. die EKF für die drei Kategorien angenehm, neutral und unangenehm.

Dadurch können Unterschiede zwischen den EKF in diesen drei Kategorien angenehm, neutral und unangenehm in verschiedenen Frequenzbändern und Zeitbereichen untersucht werden.

**Selektion der Bewertungskategorie Erregung/Aufregung:** Die jeweiligen Bewertungen der *IAPS* Bilder durch die Studienteilnehmer wurden entsprechend der Skalenrichtung der Originaldaten für die Dimension Erregung/Aufregung aus der Trail Info entnommen.

Dementsprechend wurden Bewertungen gleich 1 als hohe Erregung/Aufregung definiert.

Diese Auswahl und Definition der Bewertungen für die Dimension Erregung/Aufregung erfolgte, um die Daten separat nach deren Erregung/Aufregung analysieren zu können.

Von Interesse sind bei den folgenden Analyse-Schritten u.a. die EKF für die beiden Dimensionen hohe Erregung/Aufregung bzw. niedrige Erregung/Aufregung.

Dadurch können Unterschiede zwischen den EKF hinsichtlich der Dimension Erregung/Aufregung in verschiedenen Frequenzbändern und Zeitbereichen untersucht werden.

### 5.5.1.3. Weitere Analysen und statistische Auswertung

#### **Berechnung der EKF bzw. EKP:**

Es wurde eine Baseline-Korrektur mithilfe der Funktion `ft_timelockbaseline` zwischen 1000 ms vor Stimulusbeginn bis zu 0 ms nach Stimulusbeginn vorgenommen.

Im Anschluss erfolgte mittels der Funktion `ft_timelockanalysis` eine Berechnung der gemittelten EKF (Magnetometer und Gradiometer) bzw. EKP für die drei Kategorien angenehm, neutral und unangenehm jeweils für jeden Studienteilnehmer.

Zur graphischen Darstellung der auf Sensorebene analysierten Daten kam die Funktion `ft_multiplotER` zur Anwendung.

Ein Beispiel zur topographischen Darstellung der gemittelten EKF für die 102 Magnetometer einer Versuchsperson zeigt Abb. 5.

In Abb. 6 ist exemplarisch das EKF auf Sensorebene (MEG1341) für die drei Kategorien angenehm, neutral und unangenehm illustriert.

## 5. Methodik

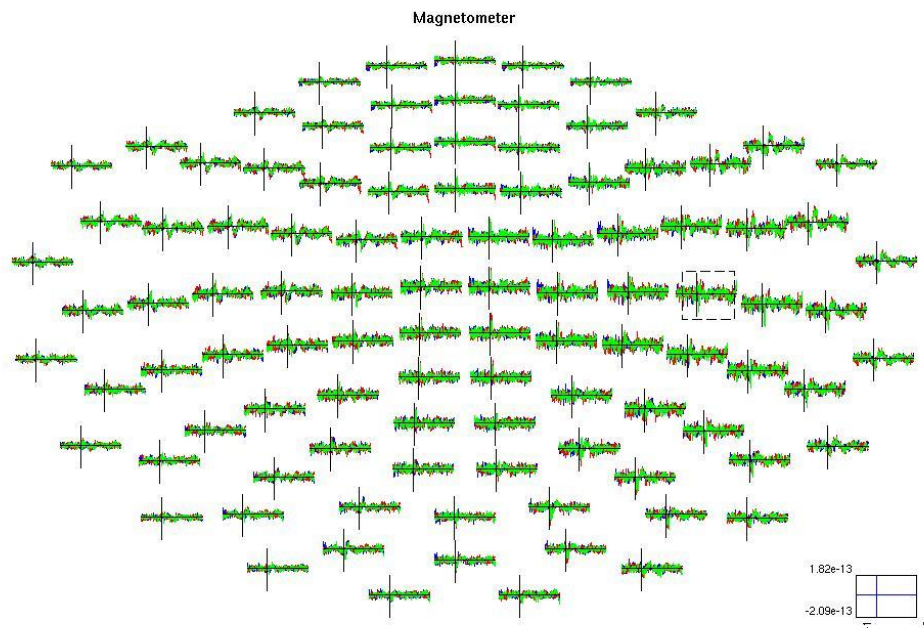


Abb. 5: Topographische Darstellung der EKF auf Sensorebene einer Versuchsperson für die Magnetometer, dargestellt durch die Funktion `ft_multiplotER` und kalkuliert mithilfe der Funktion `ft_timelockanalysis`

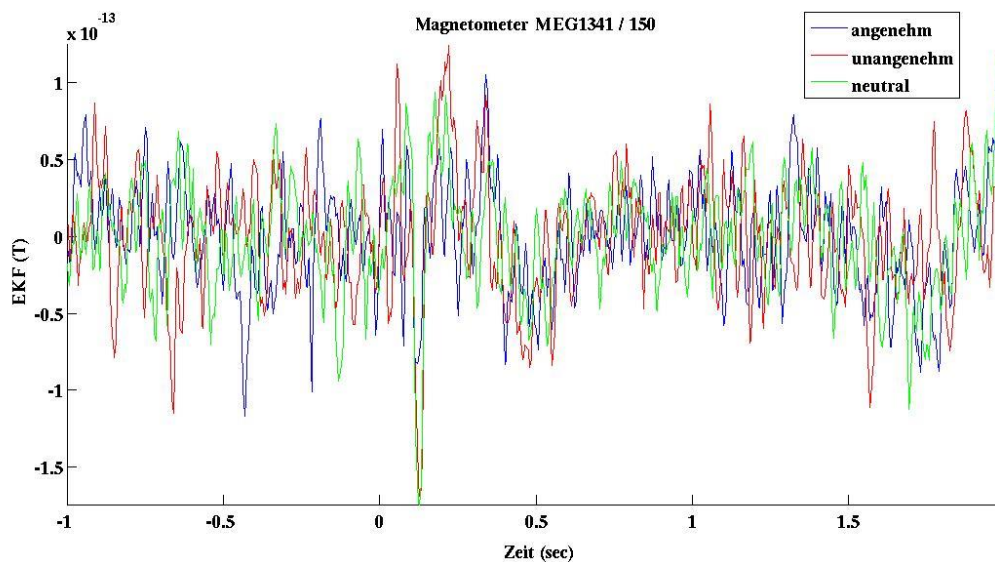


Abb. 6: Ausschnitt des mit einem Rechteck umrandeten Magnetometer MEG1341 aus Abb. 5: EKF für die drei Kategorien angenehm (blau), unangenehm (rot) und neutral (grün) des einzelnen Sensors, dargestellt in der Zeitspanne von 1000 ms vor Stimulusbeginn bis 2000 ms nach Stimulusbeginn

## 5. Methodik

Ein Beispiel zur topographischen Darstellung der gemittelten EKF für die 204 Gradiometer einer Versuchsperson zeigt Abb. 7. In Abb. 8 ist exemplarisch das EKF auf Sensorebene (MEG1342, MEG1343) für die drei Kategorien angenehm, neutral und unangenehm illustriert.

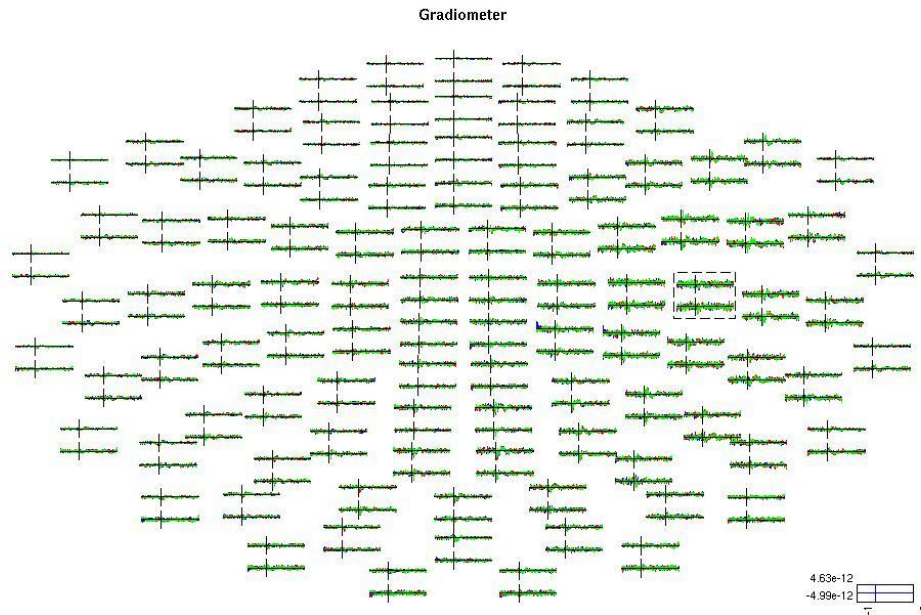


Abb. 7: Topographische Darstellung der EKF auf Sensorebene einer Versuchsperson für die Gradiometer, dargestellt durch die Funktion `ft_multiplotER` und kalkuliert mithilfe der Funktion `ft_timelockanalysis`

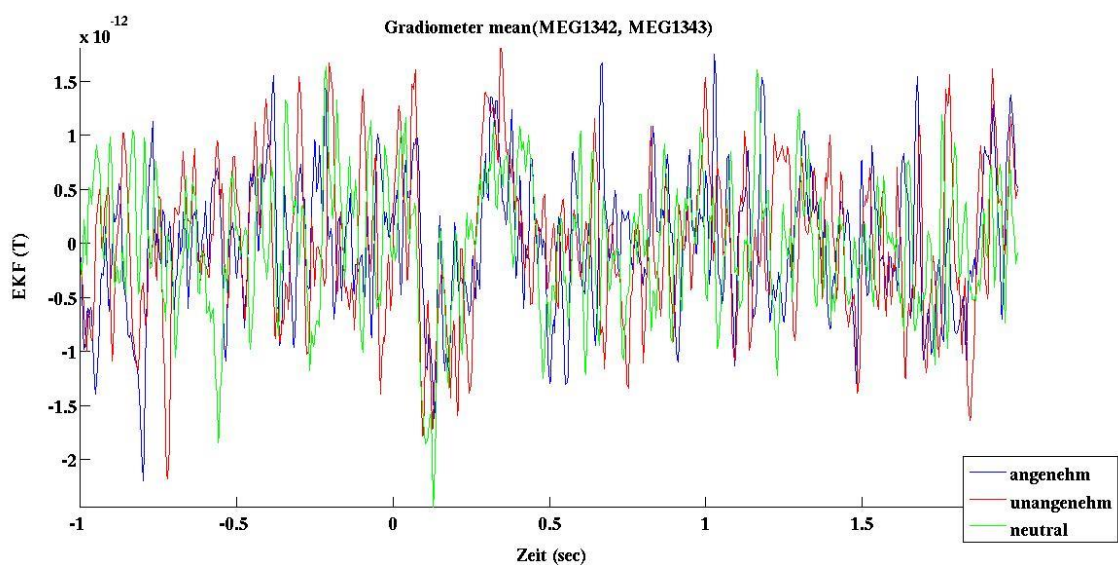


Abb. 8: Ausschnitt der mit einem Rechteck umrandeten Gradiometer MEG1342, MEG1343 aus Abb. 7: EKF für die drei Kategorien angenehm (blau), unangenehm (rot) und neutral (grün) einzelner Sensoren, dargestellt in der Zeitspanne von 1000 ms vor Stimulusbeginn bis 2000 ms nach Stimulusbeginn



## 5. Methodik

Ein Beispiel zur topographischen Darstellung der gemittelten EKP für die 60 EEG-Kanäle einer Versuchsperson zeigt Abb. 9. In Abb. 10 ist exemplarisch das EKP auf Sensorebene (EEG043) für die drei Kategorien angenehm, neutral und unangenehm illustriert.

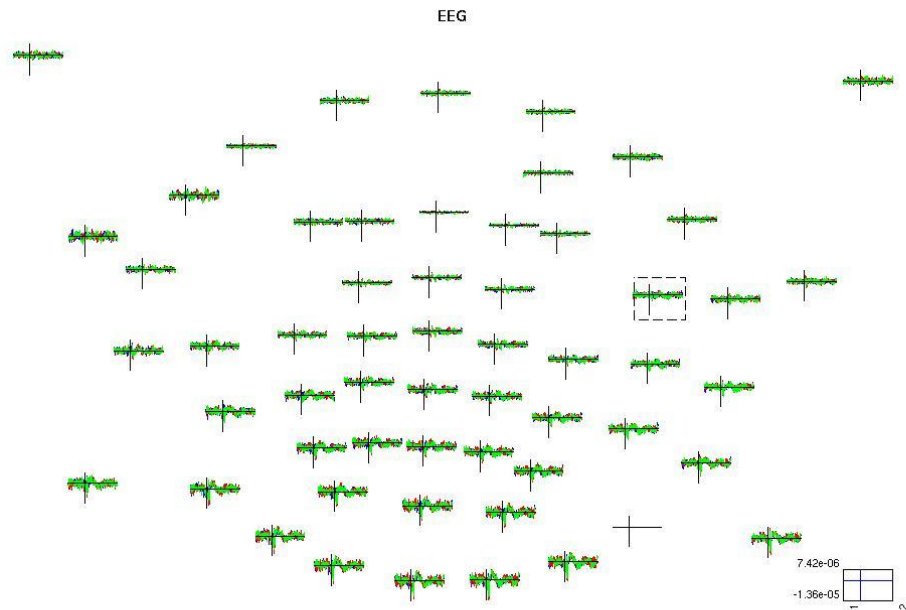


Abb. 9: Topographische Darstellung der EKP auf Sensorebene einer Versuchsperson, dargestellt durch die Funktion `ft_multiplotER` und kalkuliert mithilfe der Funktion `ft_timelockanalysis`

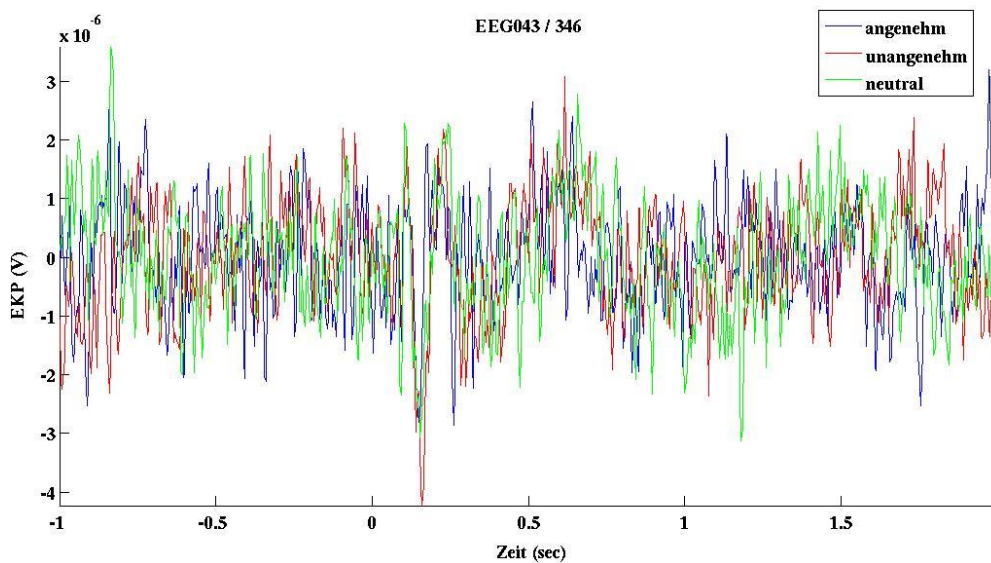


Abb. 10: Ausschnitt des mit einem Rechteck umrandeten EEG-Kanals EEG043 aus Abb. 9: EKF für die drei Kategorien angenehm (blau), unangenehm (rot) und neutral (grün) eines einzelnen Sensors, dargestellt in der Zeitspanne von 1000 ms vor Stimulusbeginn bis 2000 ms nach Stimulusbeginn



## 5. Methodik

Ebenso erfolgte die Mittelung der EKF bzw. EKP eines jeden Studienteilnehmers für die Dimension Erregung/Aufregung, so dass für die anschließenden Analysen auch die Unterschiede zwischen als hoch erregende (*high arousal*) und erregungsarm (*low arousal*) eingestufte emotionale Stimuli untersucht werden konnten.

**Zeit-Frequenzanalyse:** Die Frequenzanalyse für die nachfolgenden Analyse-Schritte erfolgte zwischen 1 Hz und 40 Hz, im Zeitbereich von 500 ms vor Stimulusbeginn bis 1500 ms nach Stimulusbeginn. Die Daten wurden mithilfe der Funktion `ft_freqbaseline` Baseline-korrigiert (500 ms vor Stimulusbeginn bis 0 ms nach Stimulusbeginn), eine Grundliniennormalisierung für die Zeit-Frequenz-Daten. Danach erfolgte die Frequenz- und Zeit-Frequenz-Analyse mittels der Funktion `ft_freqanalysis`. Diese Frequenzanalyse wurde separat für die EEG-Daten in den drei Kategorien neutral (siehe Abb. 11), unangenehm (siehe Abb. 12) und angenehm (siehe Abb. 13) durchgeführt, ebenso analog für die MEG-Daten in den drei Kategorien angenehm (siehe Abb. 14), neutral (siehe Abb. 15) und unangenehm (siehe Abb. 16).

Die graphische Darstellung erfolgte durch die Funktion `ft_multiplotTFR`, die die Zeit-Frequenz-Repräsentation (*TFR, time-frequency representation*) der *Power*, also der Signalleistung (Energie pro Zeiteinheit), in einem topographischen Layout zeigt.

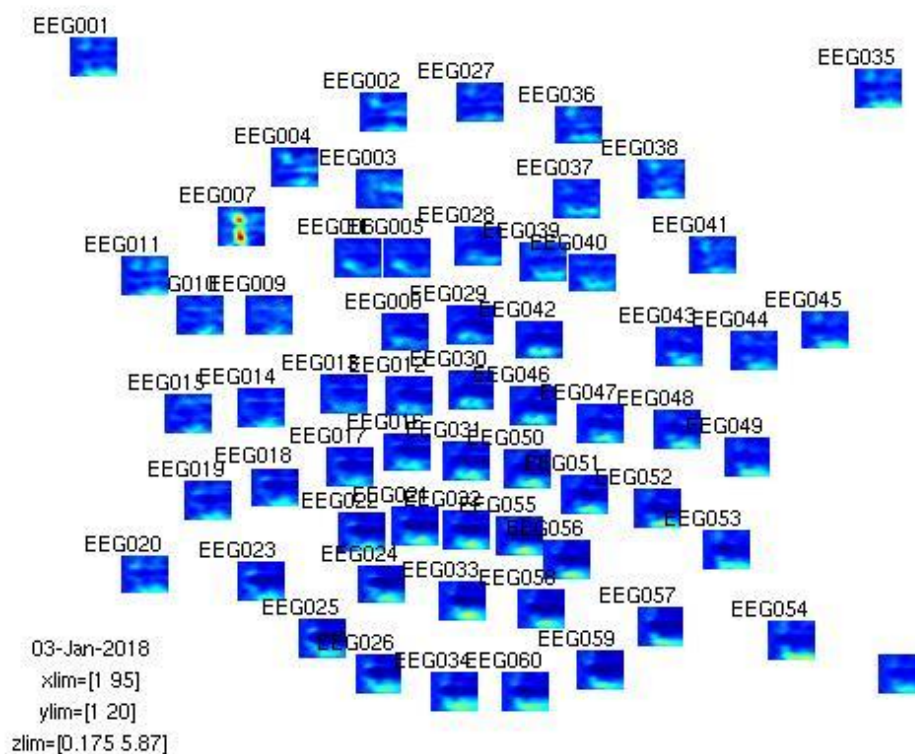


Abb. 11: Ein Beispiel der Frequenzanalyse für eine Versuchsperson im EEG in der Kategorie neutral, dargestellt mithilfe der Funktion `ft_multiplotTFR`

## 5. Methodik

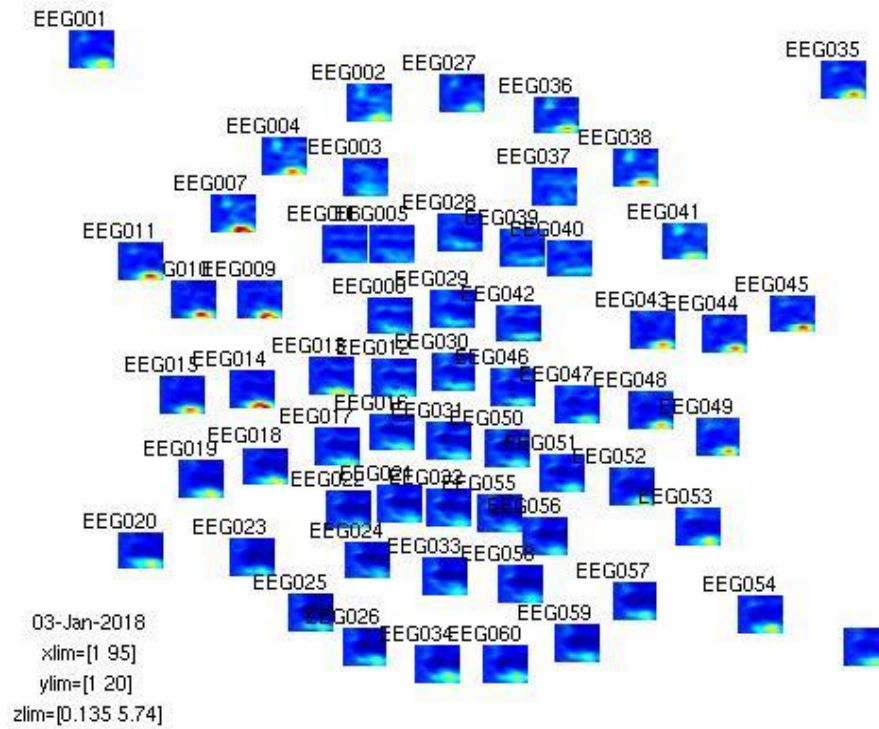


Abb. 12: Ein Beispiel der Frequenzanalyse für eine Versuchsperson im EEG in der Kategorie unangenehm, dargestellt mithilfe der Funktion `ft_multiplotTFR`

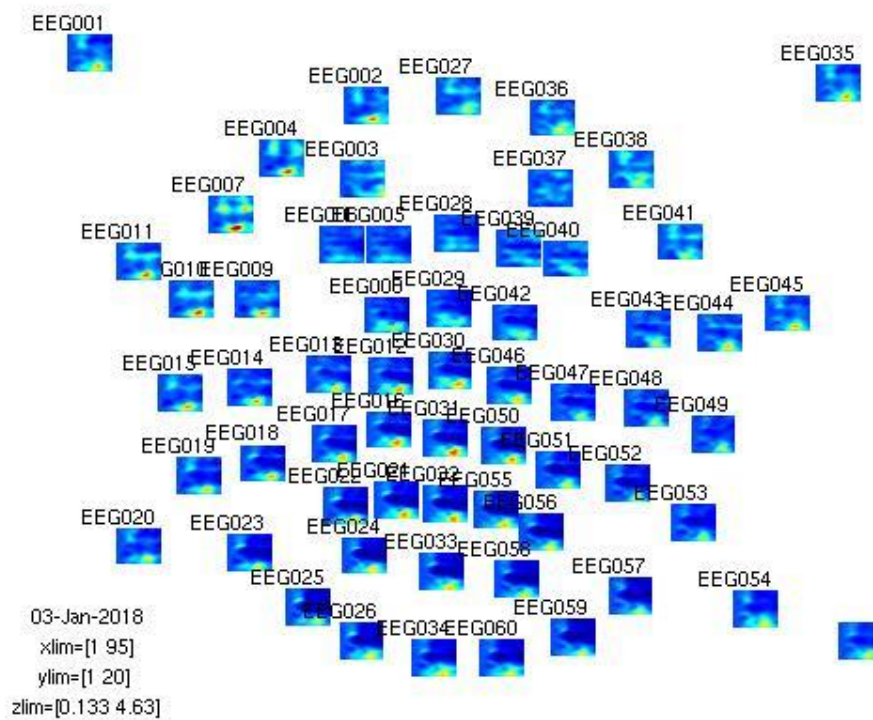


Abb. 13: Ein Beispiel der Frequenzanalyse für eine Versuchsperson im EEG in der Kategorie angenehm, dargestellt mithilfe der Funktion `ft_multiplotTFR`

## 5. Methodik

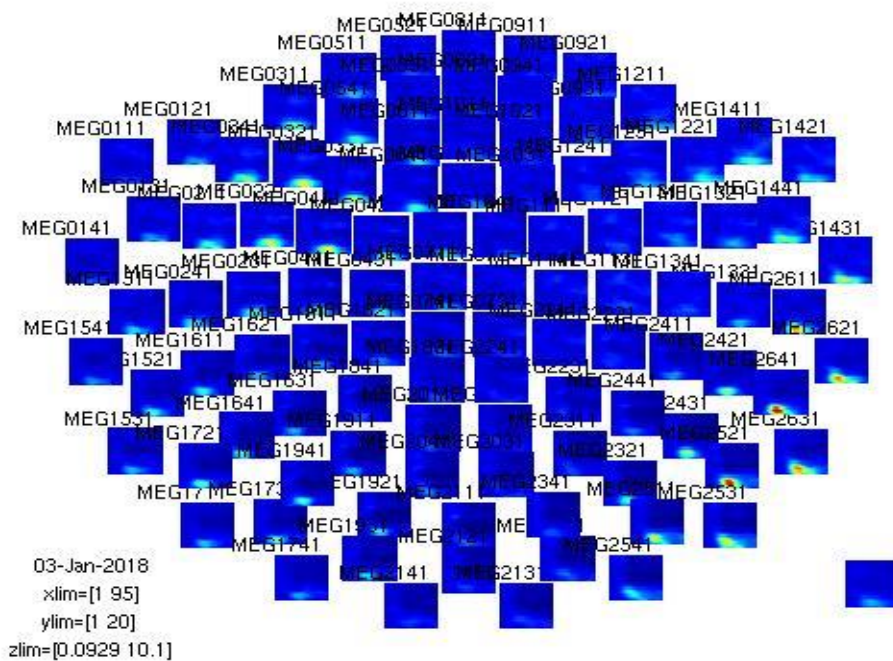


Abb. 14: Ein Beispiel der Frequenzanalyse für eine Versuchsperson im MEG (Magnetometer) in der Kategorie angenehm, dargestellt mithilfe der Funktion `ft_multiplotTFR`

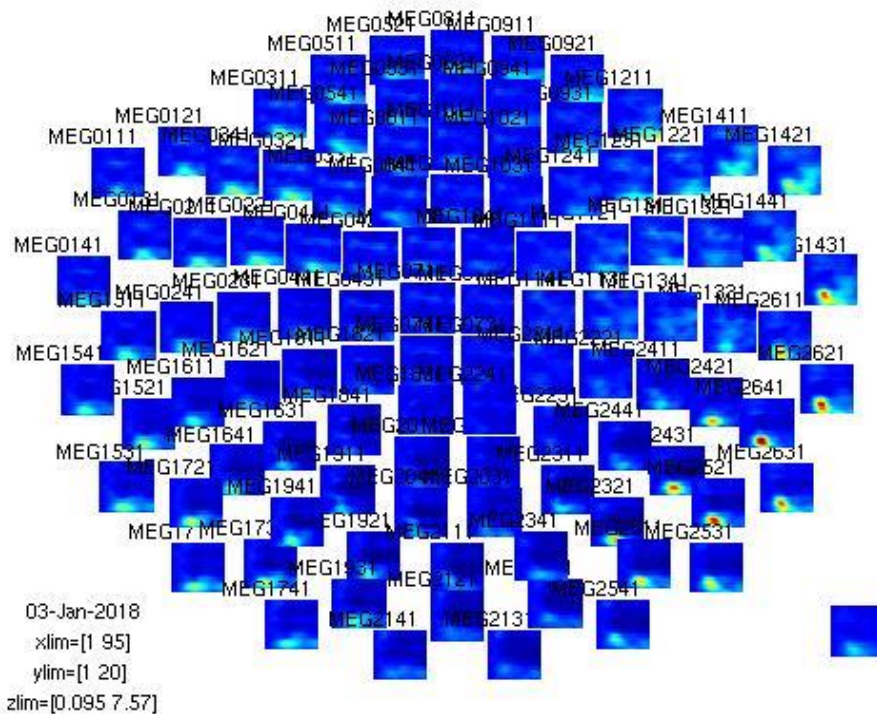


Abb. 15: Ein Beispiel der Frequenzanalyse für eine Versuchsperson im MEG (Magnetometer) in der Kategorie neutral, dargestellt mithilfe der Funktion `ft_multiplotTFR`



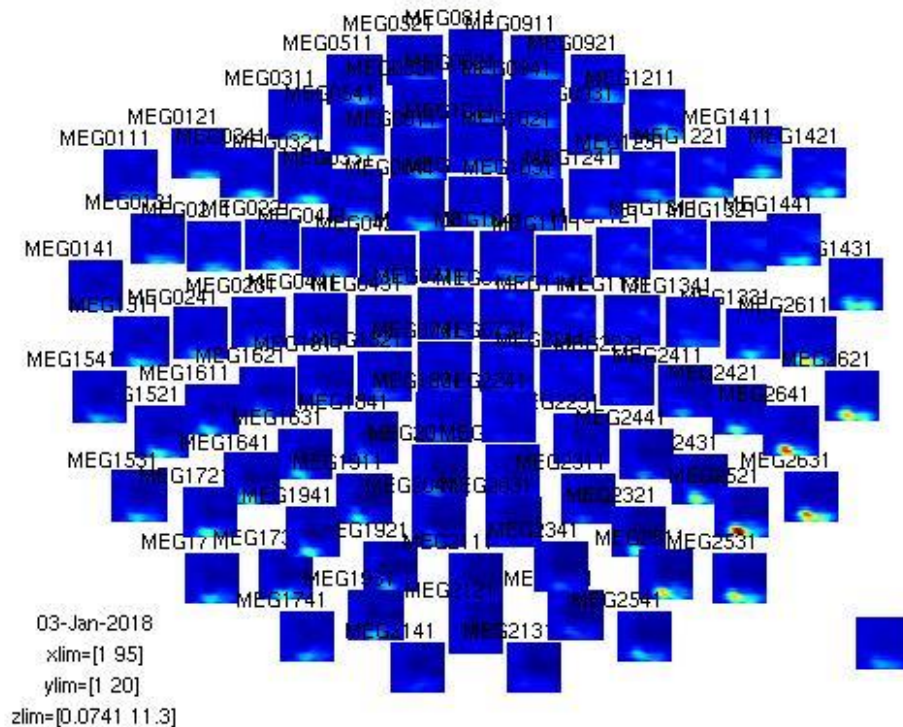


Abb. 16: Ein Beispiel der Frequenzanalyse für eine Versuchsperson im MEG (Magnetometer) in der Kategorie unangenehm, dargestellt mithilfe der Funktion `ft_multiplotTFR`

### Selektion der MEG-Kanäle (102 Magnetometer) mit den höchsten EKF-Unterschieden:

Um die Magnetometer mit den höchsten Unterschieden zwischen den einzelnen Kategorien (neutral, angenehm und unangenehm) bei den EKF betrachten zu können, wurde die Bootstrap-Methode (*Bootstrap Algorithm*) in MATLAB® angewendet.

Bootstrapping ist in der Statistik eine Computer-basierte Methode und wurde von Efron als Ansatz zur Berechnung von Konfidenzintervallen für Parameter eingeführt, wenn Standardmethoden nicht mehr angewendet werden können. Dabei werden die Berechnungen unzählige Male durchgeführt und als wiederholte Experimente betrachtet (Zoubir und Boashash 1998). Folglich werden bei dem Bootstrap-Verfahren wiederholt Statistiken auf der Basis einer Stichprobe durchgeführt.

In dieser Studie wurden 70 % der Trails randomisiert ausgewählt und die Kanäle mit 10 % der höchsten EKF Unterschiede zwischen den Konditionen neutral, angenehm und unangenehm für diese Trails ausgewählt.

## 5. Methodik

Dies wurde bei den Analysen mit insgesamt 10.000 Bootstrapping Schritten wiederholt. Dadurch konnten jeweils 70 % dieser Kanäle für jeden einzelnen der 18 Versuchspersonen ermittelt werden (siehe Abb. 17).

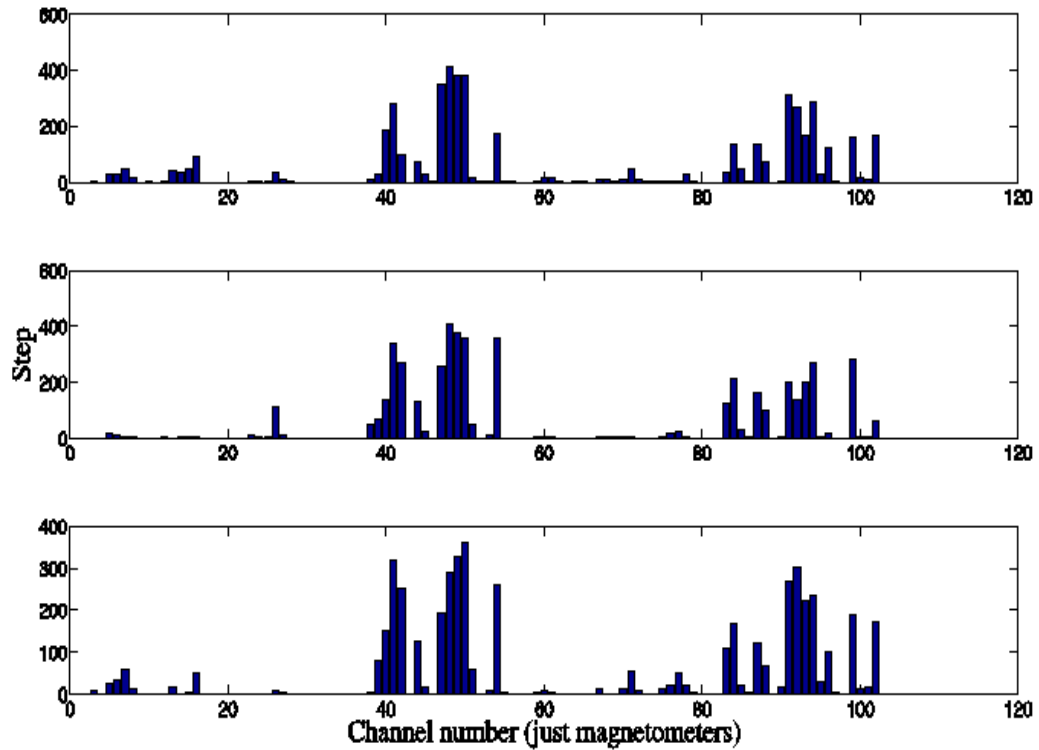


Abb. 17: Balkendiagramme eines Studienteilnehmers als Beispiel nach insgesamt 600 Bootstrapping Schritten. Auf der x-Achse sind die Kanal-Nummern der 120 Magnetometern und auf der y-Achse die Bootstrapping Schritte aufgetragen. Es zeigen sich die Kanäle mit den höchsten Unterschieden in den EKF zwischen den Kategorien angenehm und neutral (oben), unangenehm und neutral (Mitte) und angenehm und unangenehm (unten)

## 5. Methodik

Durch diese Analysen wurden folgende 6 Magnetometer mit den höchsten Unterschieden in den EKF für alle Studienteilnehmer detektiert: MEG1311, MEG 1321, MEG1331, MEG 1341, MEG 2411, MEG2421 (siehe Abb. 18).

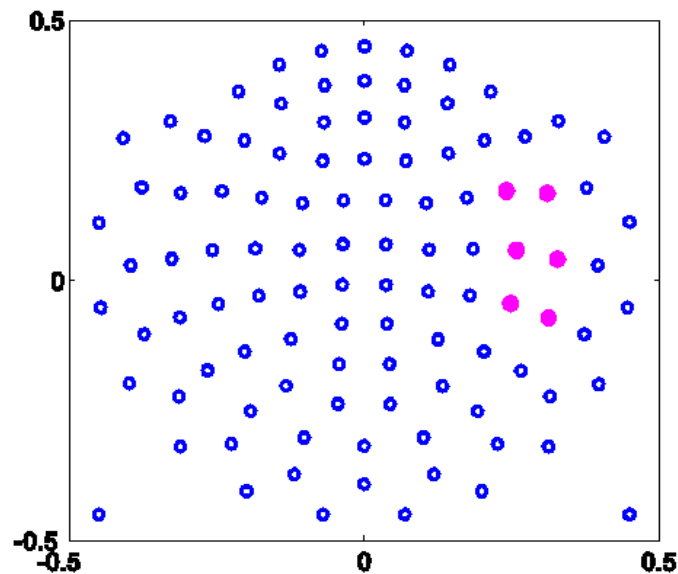


Abb. 18: Positionen der MEG-Kanäle in unserem Layout. Die pinkfarbenen Punkte repräsentieren die Elektroden bei unseren Messungen für alle 18 Studienteilnehmer. Die Kanal-Nummern sind folgende: MEG1311, MEG 1321, MEG1331, MEG 1341, MEG 2411, MEG2421

**Berechnung des *Grand-Average* über den 6 Magnetometern:** Mithilfe der Funktion `ft_freqgrandaverage`, die gemittelte *Power* Spektren berechnet, wurde der *Grand-Average* für die drei Kategorien angenehm, neutral und unangenehm in den verschiedenen Frequenzbändern (delta, theta, alpha, beta und gamma) ermittelt.

Der *Grand-Average*, auch *Grand-Mean* genannt, ist das Ergebnis der Mittelung der EKF aller Studienteilnehmer, also eine gemittelte kortikale Hauptantwort auf einen bestimmten Stimulus hin.

Zudem wurde der *Grand-Average* für die Dimension Erregung/Aufregung in den verschiedenen Frequenzbändern (delta, theta, alpha, beta und gamma) ermittelt, wodurch Unterschiede zwischen den von den Studienteilnehmern als hoch erregend (*high arousal*) bzw. als niedrig erregend (*low arousal*) eingestufte emotionalen Stimuli analysiert werden können.

Folgende Zeitfenster wurden jeweils untersucht: 50-150 ms, 100-150 ms, 150-200 ms, 200-250 ms, 250-300 ms, 300-350 ms und 350-400 ms nach Stimulusbeginn.

Die weiteren statistischen Analysen erfolgten mithilfe der Computersoftware IBM® SPSS® Statistics Version 22.

## 5. Methodik

Die Unterschiede in den Kategorien (angenehm, neutral und unangenehm) wurden statistisch mittels t-Test für abhängige Stichproben in MATLAB® untersucht.

Die gesamte Analyse erfolgte auf einem 5 % - Signifikanzniveau ( $\alpha = 0,05$ ).

### 5.5.2. Subjektive Bewertung der *IAPS* Bilder

Es wurden Excel Tabellen mit den benötigten Daten erstellt. Da in der vorliegenden Studie die verwendete Tastatur zur Bewertung der Bilder 7 Tasten hat, die Referenzdaten der Literatur allerdings auf 9 skaliert sind, wurden alle erhobenen Bewertungen auf die Skalierung 1 bis 9 umgerechnet.

Zudem mussten für die statistischen Analysen die Skalenrichtung der Dimensionen Wertung (*valence*) und Erregung/Aufregung (*arousal*) herumgedreht werden, damit die Skalenrichtung in der vorliegenden Studie die gleiche Richtung aufweist wie die der Referenzdaten.

Die Skalenrichtung für die Dominanz (*dominance*) konnte beibehalten werden.

Letztendlich ergibt sich folgende Skalierung:

- Für die Dimension Wertung: 9 angenehm – 1 unangenehm
- Für die Dimension Erregung/Aufregung: 9 höchste Erregung/Aufregung (sowohl im positiven wie im negativen Sinne) – 1 Ruhe/Gelassenheit
- Für die Dimension Dominanz: 9 dominant – 1 dominiert.

Die statistische Datenanalyse erfolgte mithilfe von Microsoft Office Excel 2016 für Windows 10 und der Computersoftware IBM® SPSS® Statistics Version 24.

Es konnten 23 der insgesamt 24 Studienteilnehmer in diese Analyse eingeschlossen werden, da nach dem ersten Probanden Modifikationen am Untersuchungsparadigma stattgefunden hatten.

Allgemein erfolgt die statistische Datenanalyse auf einem 5 % - Signifikanzniveau ( $\alpha = 0,05$ ), so dass p-Werte kleiner 0.05 als signifikant bezeichnet werden.

Bei der gesamten Statistik zur Auswertung der subjektiven Bewertungen der Probanden wurden lediglich die interindividuellen Unterschiede als Mittelwert mit den Referenzdaten verglichen. Die Berücksichtigung der intraindividuellen Unterschiede mit einer Mittelung der Datensätze innerhalb einer Versuchsperson pro Bildkategorie (*pleasant, neutral, unpleasant*) und Bewertungsdimension (*valence, arousal, dominance*) hat nicht stattgefunden.

## 5. Methodik

Zuerst wurden sowohl die erhobenen Daten als auch die Referenzdaten mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test mit einer Signifikanzkorrektur nach Lilliefors auf Normalverteilung geprüft. Dabei konnte für beide Datensätze keine Normalverteilung nachgewiesen werden.

Im Anschluss wurde zur Hypothesenprüfung eine Analyse der Daten mittels des Mann-Whitney-U-Tests für ungepaarte Stichproben (nichtparametrischer Test) durchgeführt, jeweils einzeln in den drei zu untersuchenden Kategorien angenehm (*pleasant*), neutral (*neutral*) und unangenehm (*unpleasant*).

Der Zusammenhang der drei Bewertungsdimensionen Wertung (*valence*), Erregung/Aufregung (*arousal*) und Dominanz (*dominance*) wurde mittels Verallgemeinerte Schätzgleichungen (*GEE General Estimating Equations*, (Liang und Zeger 1986)) untersucht. Diese sind eine Erweiterung der generalisierten Modelle für korrelierte Daten. Hierbei war die abhängige Variable die Wertung und die Prädiktoren die Erregung/Aufregung und Dominanz. Auch hier erfolgte die Analyse auf einem 5 % - Signifikanzniveau ( $\alpha = 0,05$ ), so dass p-Werte kleiner 0.05 als signifikant bezeichnet werden.

*GEE* kam zur Anwendung, da die Bildbetrachtung einer Person nicht unabhängig ist, weil jede Versuchsperson alle 180 *IAPS* Bilder betrachtet hat.

Zur graphischen Darstellung wurden jede der drei Bewertungsdimensionen gegeneinander aufgezeichnet. Die einzelnen Punkte wurden zur besseren Visualisierung gejittert.

### 5.6. Messfehler

Messungenauigkeiten sind vermutlich größtenteils auf Artefakte durch Körperbewegungen zurückzuführen. Den Studienteilnehmern ist es meist schwergefallen, sich in den Messzeiten von dreimal 20 min. nicht zu bewegen, auch wenn vor der Messung mit Hilfe von Holzvorrichtungen unter den Füßen eine individuelle, angenehme Sitzposition hergestellt wurde. Die veränderten Kopfpositionen wurden vor jedem der drei Durchgänge mittels Spulenlokalisation registriert.



## 6. Ergebnisse

### 6.1. MEG – Power Spektren-Analyse

Die statistische Analyse der mittleren Amplituden, gemessen über den 6 Magnetometern MEG1311, MEG 1321, MEG1331, MEG 1341, MEG 2411 und MEG2421 erfolgte im Zeitbereich von 0 ms bis zu 400 ms poststimulus jeweils in den Frequenzbändern delta, theta, alpha, beta und gamma.

#### 6.1.1. In der Dimension Wertung - Kategorie angenehm, neutral, unangenehm

Im delta (1-4 Hz) Bereich:

In dem Zeitraum von 100-300 ms poststimulus zeigten sich statistisch signifikante ( $p < 0.05$ ) Unterschiede im *Power* Spektrum zwischen den emotionalen Stimuli: Unangenehme Bilder verursachten ein höheres *Power* Spektrum als angenehme Bilder. Statistisch signifikante ( $p < 0.05$ ) Unterschiede zwischen unangenehmen und neutralen Stimuli zeigten sich im Zeitraum von 300-400 ms nach Stimulusbeginn, wobei unangenehme Stimuli ein höheres *Power* Spektrum als neutrale Stimuli bewirkten (siehe Abb. 19).

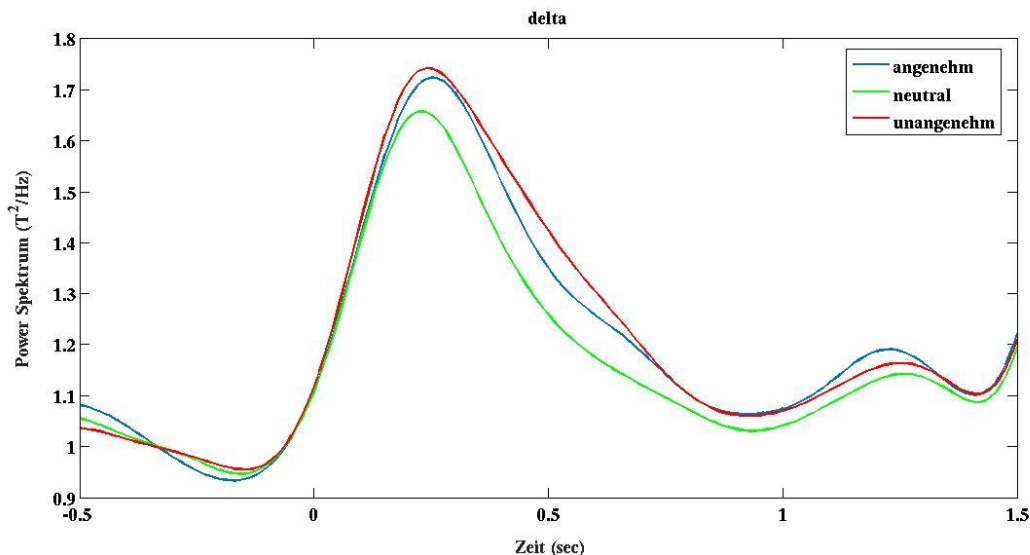


Abb. 19: Power Spektrum für die drei Kategorien angenehm(blau), neutral (grün) und unangenehm (rot) gemittelt über alle 18 Studienteilnehmer, zwischen 500 ms vor Stimulusbeginn bis 1500 ms nach Stimulusbeginn. Der Plot vergleicht die mittleren Amplituden der EKF über den 6 Magnetometern im delta Frequenzbereich

## 6. Ergebnisse

### Im theta (4-8 Hz) Bereich:

Im theta Frequenzbereich weisen die folgenden Ergebnisse alle statistische Signifikanz auf ( $p < 0.05$ ). Im Zeitfenster von 150-200 ms poststimulus bewirkten sowohl unangenehme als auch neutrale Bilder jeweils ein höheres *Power* Spektrum verglichen mit angenehmen Bildern. Zwischen den emotionalen Stimuli zeigte sich im Zeitraum von 200-300 ms poststimulus ein statistisch signifikanter Unterschied, wobei unangenehme Stimuli ein höheres *Power* Spektrum verursachten als angenehme Stimuli. Im Zeitraum 300-400 ms poststimulus erreichten emotionale Bilder, also sowohl unangenehme als auch angenehme Bilder, ein höheres *Power* Spektrum im Vergleich zu neutralen Bildern (siehe Abb. 20).

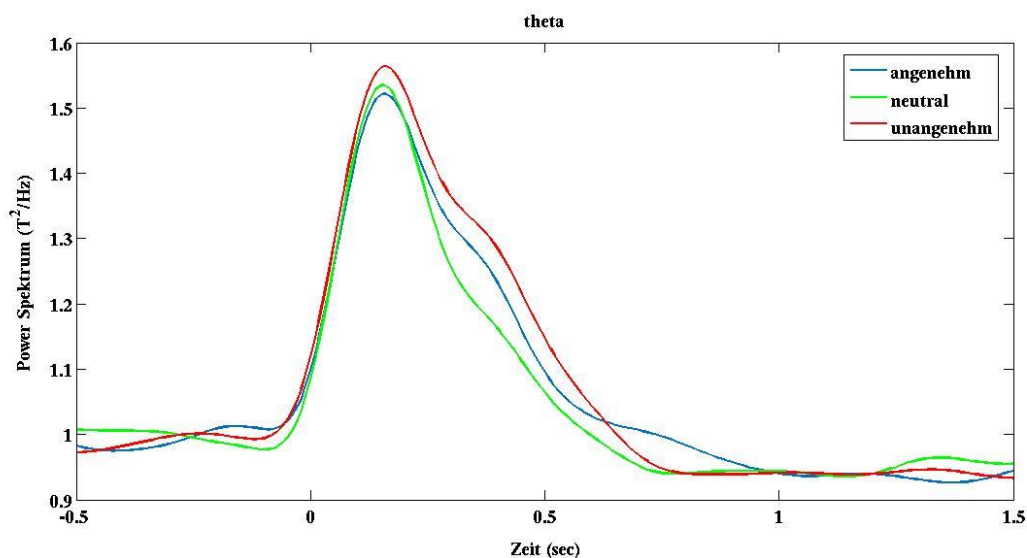


Abb. 20: Power Spektrum für die drei Kategorien angenehm (blau), neutral (grün) und unangenehm (rot) gemittelt über alle 18 Studienteilnehmer, zwischen 500 ms vor Stimulusbeginn bis 1500 ms nach Stimulusbeginn. Der Plot vergleicht die mittleren Amplituden der EKF über den 6 Magnetometern im theta Frequenzbereich

### Im alpha (8-13 Hz) Bereich:

Im Zeitraum von 250-400 ms poststimulus zeigte sich ein signifikanter Unterschied ( $p < 0.05$ ) zwischen angenehm und neutral. Angenehme Bilder verursachten ein höheres *Power* Spektrum im Vergleich zu neutralen Bildern (siehe Abb. 21).

## 6. Ergebnisse

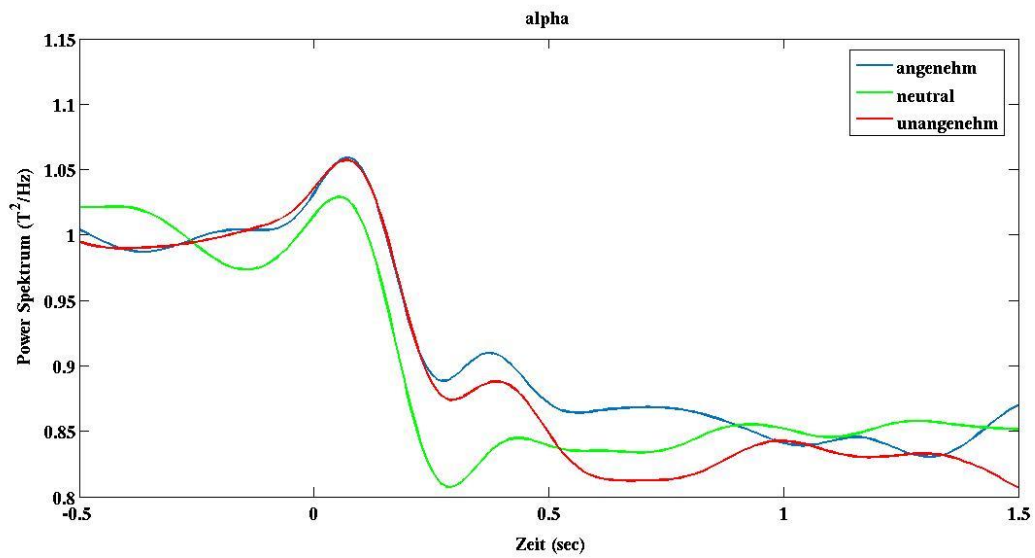


Abb. 21: Power Spektrum für die drei Kategorien angenehm (blau), neutral (grün) und unangenehm (rot) gemittelt über alle 18 Studienteilnehmer, zwischen 500 ms vor Stimulusbeginn bis 1500 ms nach Stimulusbeginn. Der Plot vergleicht die mittleren Amplituden der EKF über den 6 Magnetometern im alpha Frequenzbereich

### Im beta (13-25 Hz) Bereich:

Im beta Frequenzbereich konnten für den gesamten Zeitraum keine statistisch signifikanten Ergebnisse gefunden werden. Im Zeitfenster 250-300 ms poststimulus bewirkten angenehme Stimuli ein höheres Power Spektrum als neutrale Stimuli ( $p=0.073$ ) (siehe Abb. 22).

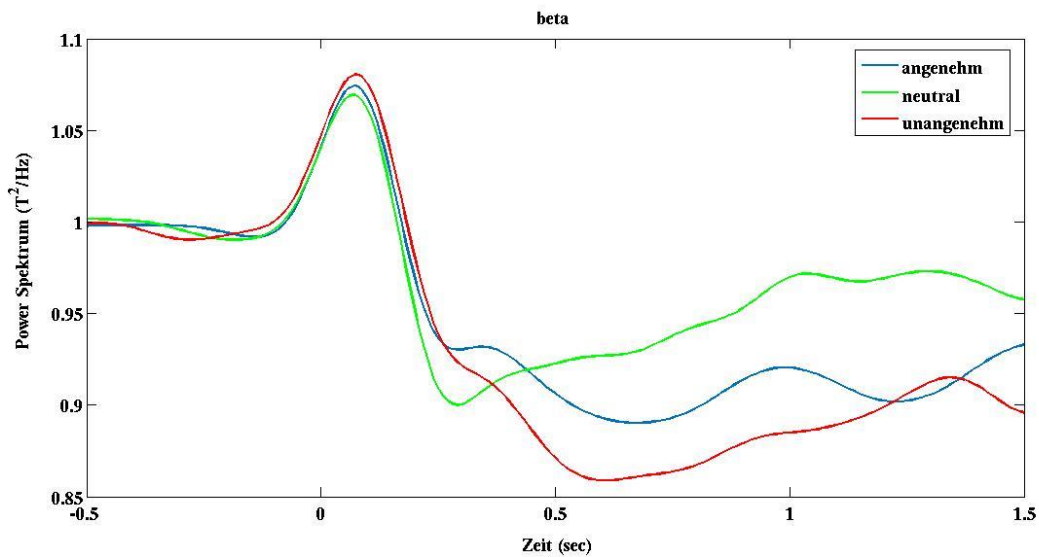


Abb. 22: Power Spektrum für die drei Kategorien angenehm (blau), neutral (grün) und unangenehm (rot) gemittelt über alle 18 Studienteilnehmer, zwischen 500 ms vor Stimulusbeginn bis 1500 ms nach Stimulusbeginn. Der Plot vergleicht die mittleren Amplituden der EKF über den 6 Magnetometern im beta Frequenzbereich

## 6. Ergebnisse

### Im gamma (25-40 Hz) Bereich:

Statistisch signifikante Unterschiede ( $p < 0.05$ ) zwischen den drei Bildkategorien angenehm, neutral und unangenehm konnten nur zwischen den emotionalen Bildern gefunden werden: Ein höheres *Power* Spektrum für unangenehme Bilder verglichen mit angenehmen Bildern zeigten sich in dem Zeitraum von 50-300 ms poststimulus.

Im Zeitfenster 150-200 ms nach Stimulusbeginn erreichten unangenehme Stimuli ein höheres *Power* Spektrum als neutrale Stimuli ( $p = 0.092$ ), ebenso wie im Zeitfenster 200-250 ms poststimulus ( $p = 0.062$ ) (siehe Abb. 23).

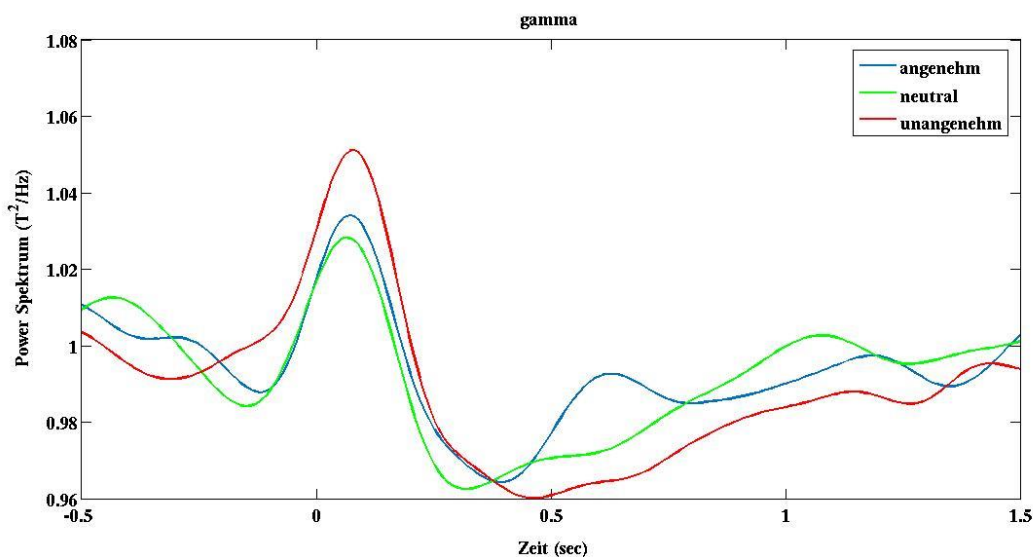


Abb. 23: *Power* Spektrum für die drei Kategorien angenehm (blau), neutral (grün) und unangenehm (rot) gemittelt über alle 18 Studienteilnehmer, zwischen 500 ms vor Stimulusbeginn bis 1500 ms nach Stimulusbeginn. Der Plot vergleicht die mittleren Amplituden der EKF über den 6 Magnetometern im gamma Frequenzbereich

### 6.1.2. In der Dimension Erregung/Aufregung – Kategorie high & low arousal

#### Im delta (1-4 Hz) Bereich:

Im Zeitraum 300-400 ms poststimulus zeigte sich ein höheres *Power* Spektrum für Bilder, die von den Studienteilnehmern als hoch erregend (*high arousal*) bewertet wurden, im Vergleich zu Bildern, die als erregungsarm (*low arousal*) klassifiziert wurden (siehe Abb. 24). Dieser Unterschied wies statistische Signifikanz auf ( $p < 0.05$ ).

## 6. Ergebnisse

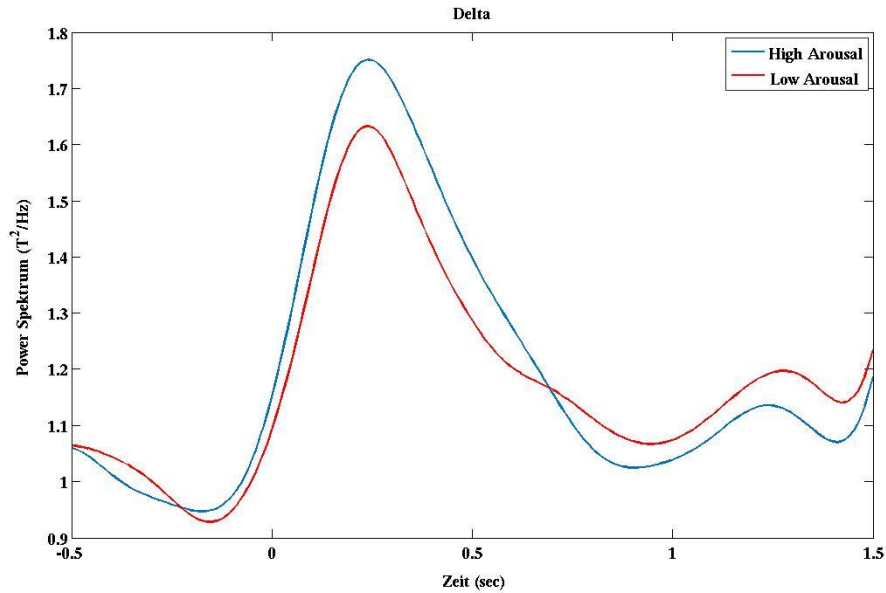


Abb. 24: Power Spektrum für die beiden Kategorien high arousal (blau) und low arousal (rot) der Dimension Erregung gemittelt über alle 18 Studienteilnehmer, zwischen 500 ms vor Stimulusbeginn bis 1500 ms nach Stimulusbeginn. Der Plot vergleicht die mittleren Amplituden der EKF über den 6 Magnetometern im delta Frequenzbereich

### Im theta (4-8 Hz) Bereich:

Ein höheres Power Spektrum für als hoch erregend eingestufte Bilder verglichen mit als niedrig erregend bewertete Bilder zeigte sich im Zeitraum 300-400 ms poststimulus (siehe Abb. 25). Dieser Unterschied wies statistische Signifikanz auf ( $p < 0.05$ ).

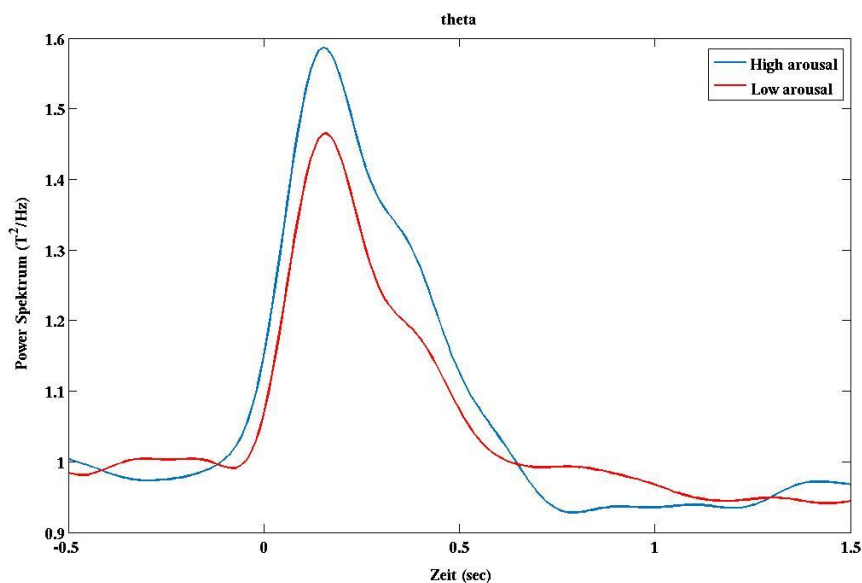


Abb. 25: Power Spektrum für die beiden Kategorien high arousal (blau) und low arousal (rot) der Dimension Erregung gemittelt über alle 18 Studienteilnehmer, zwischen 500 ms vor Stimulusbeginn bis 1500 ms nach Stimulusbeginn. Der Plot vergleicht die mittleren Amplituden der EKF über den 6 Magnetometern im theta Frequenzbereich

## 6.2. Subjektive Bewertung der IAPS Bilder

### 6.2.1. Vergleich der erhobenen Daten mit der Literatur

#### 6.2.1.1. Kategorie angenehm

Die 60 IAPS Bilder aus der Kategorie angenehm erreichten in der Dimension Wertung einen Median von 7,67, die Erregung/Aufregung wurde mit 5,0 angegeben und die Dominanz mit 6,33 (Tab. 1).

##### Statistiken<sup>a</sup>

		valence neu	arousal neu	dominance neu
N	Gültig	1380	1380	1380
	Fehlend	0	0	0
Median		7,66667	5,00000	6,33333
Perzentile	25	6,33333	2,33333	5,00000
	50	7,66667	5,00000	6,33333
	75	7,66667	6,33333	7,66667

a. Gruppe = Studienteilnehmer

Tab. 1: Deskriptive Statistik für die 23 eingeschlossenen Studienteilnehmer in der Kategorie angenehm ( $N=60 \times 23=1380$ ): valence neu/arousal neu/dominance neu sind die Bewertungen der Studienteilnehmer in den Dimensionen Wertung (valence), Erregung/Aufregung (arousal) und Dominanz (dominance)

Für die Dimension Wertung ist der Unterschied zwischen den erhobenen Daten und der Referenzgruppe nicht statistisch signifikant ( $p = 0.242$ ), wohingegen sowohl die Erregung/Aufregung ( $p = 0.000$ ) als auch die Dominanz ( $p = 0.016$ ) statistische Signifikanz aufweisen (Tab. 2).

##### Statistik für Test<sup>a</sup>

	valence neu	arousal neu	dominance neu
Mann-Whitney-U	968424,000	735408,000	941616,000
Wilcoxon-W	1921314,000	1688298,000	1979136,000
Z	-1,170	-11,967	-2,412
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,242	,000	,016

a. Gruppenvariable: Gruppe

Tab. 2: Mann-Whitney-U-Test: Vergleich der erhobenen Daten mit den Referenzdaten

## 6. Ergebnisse

### 6.2.1.2. Kategorie neutral

Die 60 *IAPS* Bilder aus der Kategorie neutral erreichten in der Dimension Wertung einen Median von 5,00, die Erregung/Aufregung wurde mit 1,00 angegeben und die Dominanz mit 7,67 (Tab. 3).

#### Statistiken<sup>a</sup>

		valence neu	arousal neu	dominance neu
N	Gültig	1380	1380	1380
	Fehlend	0	0	0
Median		5,00000	1,00000	7,66667
Perzentile	25	5,00000	1,00000	5,00000
	50	5,00000	1,00000	7,66667
	75	5,00000	2,33333	9,00000

a. Gruppe = Studienteilnehmer

Tab. 3: Deskriptive Statistik für die 23 eingeschlossenen Studienteilnehmer in der Kategorie neutral ( $N=60 \times 23=1380$ ): valence neu/arousal neu/dominance neu sind die Bewertungen der Studienteilnehmer in den Dimensionen Wertung (valence), Erregung/Aufregung (arousal) und Dominanz (dominance)

Für alle drei Dimensionen ist der Unterschied zwischen den erhobenen Daten und der Referenzgruppe in der Kategorie neutral statistisch signifikant ( $p = 0.000$ ) (Tab. 4).

#### Statistik für Test<sup>a</sup>

	valence neu	arousal neu	dominance neu
Mann-Whitney-U	707736,000	457584,000	776736,000
Wilcoxon-W	1745256,000	1410474,000	1814256,000
Z	-13,433	-25,190	-10,085
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000

a. Gruppenvariable: Gruppe

Tab. 4: Mann-Whitney-U-Test: Vergleich der erhobenen Daten mit den Referenzdaten

## 6. Ergebnisse

### 6.2.1.3. Kategorie unangenehm

Die 60 *IAPS* Bilder aus der Kategorie unangenehm erreichten in der Dimension Wertung einen Median von 1,00, die Erregung/Aufregung wurde mit 6,33 angegeben und die Dominanz mit 3,67 (Tab. 5).

#### Statistiken<sup>a</sup>

		valence neu	arousal neu	dominance neu
N	Gültig	1380	1380	1380
	Fehlend	0	0	0
Median		1,00000	6,33333	3,66667
Perzentile	25	1,00000	5,00000	2,33333
	50	1,00000	6,33333	3,66667
	75	2,33333	7,66667	6,33333

a. Gruppe = Studienteilnehmer

Tab. 5: Deskriptive Statistik für die 23 eingeschlossenen Studienteilnehmer in der Kategorie unangenehm ( $N=60 \times 23=1380$ ): valence neu/arousal neu/dominance neu sind die Bewertungen der Studienteilnehmer in den Dimensionen Wertung (valence), Erregung/Aufregung (arousal) und Dominanz (dominance)

Für die Dimension Erregung/Aufregung ist der Unterschied zwischen den erhobenen Daten und der Referenzgruppe nicht statistisch signifikant ( $p = 0.347$ ), wohingegen sowohl die Wertung ( $p = 0.000$ ) als auch die Dominanz ( $p = 0.000$ ) statistische Signifikanz aufweisen (Tab. 6).

#### Statistik für Test<sup>a</sup>

	valence neu	arousal neu	dominance neu
Mann-Whitney-U	815088,000	973296,000	794184,000
Wilcoxon-W	1767978,000	1926186,000	1831704,000
Z	-8,334	-,941	-9,241
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000	,347	,000

a. Gruppenvariable: Gruppe

Tab. 6: Mann-Whitney-U-Test: Vergleich der erhobenen Daten mit den Referenzdaten



### 6.2.2. Analyse der Zusammenhänge zwischen den drei Bewertungsdimensionen Wertung, Erregung/Aufregung und Dominanz

In den folgenden Abb. 26, 27 und 28 stellt die blaue Farbkodierung die Probanden-Identifikation (ID) dar.

#### Kategorie angenehm:

Wertung und Dominanz hängen miteinander zusammen (siehe oberes Streu-/Punktdiagramm aus Abb. 26). Die Variable Dominanz hat einen Regressionskoeffizient B von 0,095 ( $p=0.003$ ) (siehe Tab. 7).

Bei Wertung und Erregung zeigt sich ein klarer Zusammenhang (siehe mittlere Streu-/Punktdiagramm aus Abb. 26). Die Variable Erregung/Aufregung hat einen Regressionskoeffizienten B von 0,333 ( $p=0.000$ ) (siehe Tab. 7).

Zwischen Dominanz und Erregung/Aufregung zeigt sich kein eindeutiger Zusammenhang (siehe unteres Streu-/Punktdiagramm aus Abb. 26).



Abb. 26: Streu-/Punktdiagramme zur Korrelationsprüfung der drei Dimensionen Wertung (valence), Erregung/Aufregung (arousal) und Dominanz (dominance) für die Kategorie angenehm (pleasant). Valence neu/arousal neu/dominance neu sind die Bewertungen der Studienteilnehmer

## 6. Ergebnisse

### Kategorie unangenehm:

Wertung und Dominanz hängen rein visuell betrachtet miteinander zusammen: Eine niedrige Wertung ist mehrheitlich mit einer niedrigen Dominanz vergesellschaftet (siehe oberes Streu-Punktdiagramm aus Abb. 27). Die Variable Dominanz hat einen Regressionskoeffizient B von 0,049 ( $p > 0.05$ ) (siehe Tab. 8).

Das mittlere Streu-/Punktdiagramm aus Abb. 27 illustriert den Zusammenhang zwischen Wertung und Erregung/Aufregung: Je niedriger die Wertung, desto höher die Erregung/Aufregung. Die Variable Erregung/Aufregung hat einen Regressionskoeffizienten B von -0,340 ( $p = 0.000$ ) (siehe Tab. 8).

Dominanz und Erregung/Aufregung scheinen miteinander zusammenzuhängen: Es zeichnet sich eine Tendenz ab, dass eine hohe Erregung/Aufregung mit einer niedrigen Dominanz einhergeht (siehe unteres Streu-/Punktdiagramm aus Abb. 27).

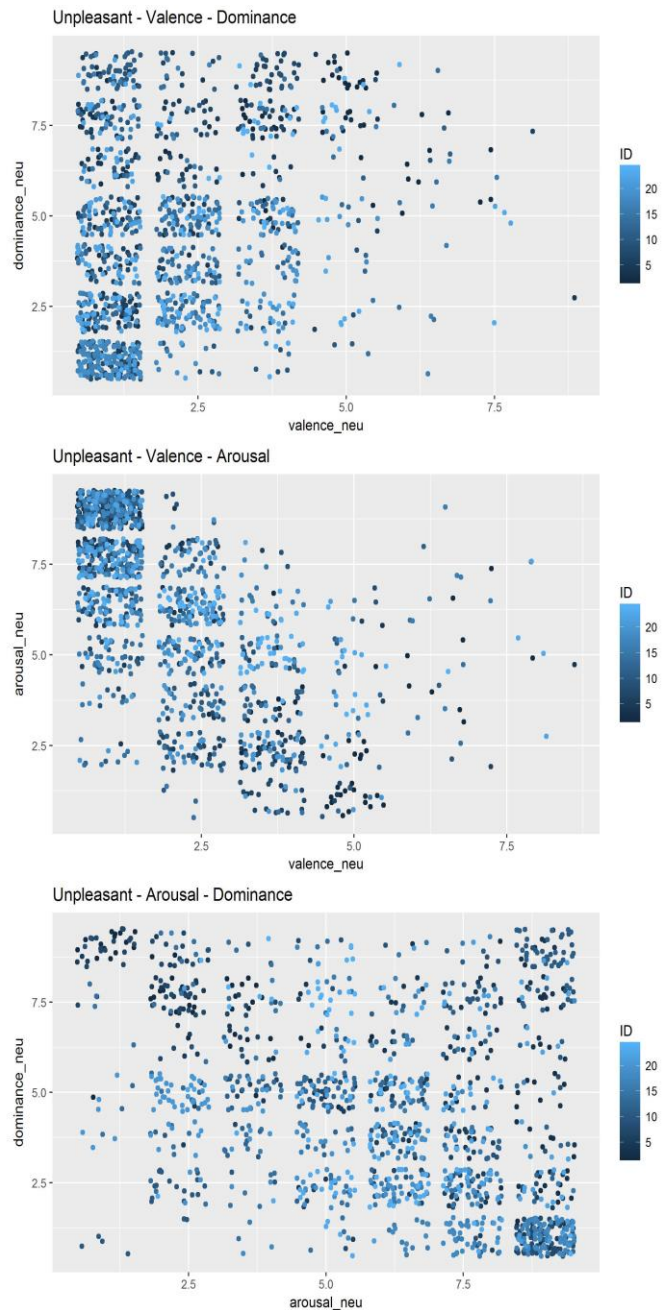


Abb. 27: Streu-/Punktdiagramme zur Korrelationsprüfung der drei Dimensionen Wertung (valence), Erregung/Aufregung (arousal) und Dominanz (dominance) für die Kategorie unangenehm (unpleasant). Valence neu/arousal neu/dominance neu sind die Bewertungen der Studienteilnehmer

## 6. Ergebnisse

### Kategorie neutral:

Wertung und Dominanz hängen miteinander zusammen, wobei sich visuell betrachtet zwei Mehrheiten abgrenzen lassen: Neutrale Wertung mit indifferenter Haltung bzw. neutrale Wertung mit hoher Dominanz (siehe oberes Streu-/Punktdiagramm aus Abb. 28). Die Variable Dominanz hat einen Regressionskoeffizienten  $B$  von 0,109 ( $p=0.021$ ) (siehe Tab. 9).

Wertung und Erregung/Aufregung zeigen folgenden Zusammenhang: Eine neutrale Wertung bedingt eine niedrige Erregung/Aufregung (siehe mittleres Streu-/Punktdiagramm aus Abb. 28). Die Variable Erregung/Aufregung hat einen Regressionskoeffizienten  $B$  von 0,217 ( $p=0.005$ ) (siehe Tab. 9).

Unter dem Gesichtspunkt neutraler Bilder hängen Erregung/Aufregung und Dominanz nur insofern miteinander, als dass eine niedrige Erregung/Aufregung zu einer Ambivalenz an Dominanz führt, wie aus dem unteren Streu-/Punktdiagramm aus Abb. 28 ersichtlich wird.



Abb. 28: Streu-/Punktdiagramme zur Korrelationsprüfung der drei Dimensionen Wertung (valence), Erregung/Aufregung (arousal) und Dominanz (dominance) für die Kategorie neutral (neutral). Valence neu/arousal neu/dominance neu sind die Bewertungen der Studienteilnehmer

## 6. Ergebnisse

Parameterschätzer							
Parameter	Regressionskoeffizient B	Standard Fehler	95% Wald-Konfidenzintervall		Hypothesentest		
			Unterer Wert	Oberer Wert	Wald-Chi-Quadrat	df	Sig.
(Konstanter Term)	4,970	,2527	4,475	5,465	386,951	1	,000
arousal neu	,333	,0331	,268	,398	100,768	1	,000
dominance neu	,095	,0317	,033	,157	9,001	1	,003
(Skala)	2,056						

Abhängige Variable: valence neu

Modell: (Konstanter Term), arousal neu, dominance neu

Tab. 7: GEE für die Kategorie angenehm, als abhängige Variable wurde die Wertung der Studienteilnehmer (valence neu) und als Prädiktoren die Erregung/Aufregung (arousal neu) und die Dominanz (dominance neu) der Studienteilnehmer definiert

Parameterschätzer							
Parameter	Regressionskoeffizient B	Standard Fehler	95% Wald-Konfidenzintervall		Hypothesentest		
			Unterer Wert	Oberer Wert	Wald-Chi-Quadrat	df	Sig.
(Konstanter Term)	3,992	,2607	3,481	4,503	234,368	1	,000
arousal neu	-,340	,0333	-,406	-,275	104,231	1	,000
dominance neu	,049	,0265	-,003	,101	3,370	1	,066
(Skala)	1,192						

Abhängige Variable: valence neu

Modell: (Konstanter Term), arousal neu, dominance neu

Tab. 8: GEE für die Kategorie unangenehm, als abhängige Variable wurde die Wertung der Studienteilnehmer (valence neu) und als Prädiktoren die Erregung/Aufregung (arousal neu) und die Dominanz (dominance neu) der Studienteilnehmer definiert

Parameterschätzer							
Parameter	Regressionskoeffizient B	Standard Fehler	95% Wald-Konfidenzintervall		Hypothesentest		
			Unterer Wert	Oberer Wert	Wald-Chi-Quadrat	df	Sig.
(Konstanter Term)	3,786	,4628	2,879	4,693	66,927	1	,000
arousal neu	,217	,0764	,067	,367	8,057	1	,005
dominance neu	,109	,0475	,016	,203	5,303	1	,021
(Skala)	1,677						

Abhängige Variable: valence neu

Modell: (Konstanter Term), arousal neu, dominance neu

Tab. 9: GEE für die Kategorie neutral, als abhängige Variable wurde die Wertung der Studienteilnehmer (valence neu) und als Prädiktoren die Erregung/Aufregung (arousal neu) und die Dominanz (dominance neu) der Studienteilnehmer definiert

## 7. Diskussion

### 7.1. Power Spektren: Stellungnahme zu Hypothese I

Die MEG und die EEG bilden unterschiedlich ausgerichtete kortikale Neurone ab: Die MEG stellt tangential zur Kopfhaut orientierte Quellen dar, wohingegen die EEG sowohl radiale als auch tangentielle Dipole erfasst. Allerdings neigen radiale Quellen dazu, das EEG zu dominieren, da die *Gyri* näher zu den EEG-Elektroden liegen (Cohen und Halgren 2003). Aufgrund einer geringen Anzahl an MEG-Studien, die vergleichbare Untersuchungssettings und Stimulus Auswahl verwendeten, werden im Folgenden die Ergebnisse der vorliegenden Studie hauptsächlich anhand von EEG-Studien interpretiert.

#### Delta Power:

Wie aus Abb. 19 hervorgeht, haben im delta Frequenzbereich im Zeitraum von 100-300 ms poststimulus unangenehme Stimuli ein höheres *Power* Spektrum verursacht als Angenehme, während im darauffolgendem Zeitintervall (300-400 ms) unangenehme Bilder ein höheres *Power* Spektrum hervorgerufen haben als Neutrale. Dies ist teilweise mit dem Ergebnis der Metaanalyse von Güntekin und Başar vereinbar, die höhere EKP im delta Bereich für emotionale Stimuli verglichen mit neutralen Stimuli rezensieren (Güntekin und Başar 2014). Es wird vermutet, dass EEG delta Oszillationen durch die Summe lang andauernder, von Pyramidenzellen erzeugter Nachhyperpolarisationen generiert werden. Studien mit kognitiv beeinträchtigten Probanden unterstützen die Vorstellung, dass delta Oszillationen wichtig für kognitive Prozesse, wie Aufmerksamkeit, Wahrnehmung oder die Entscheidungsfindung sind (Güntekin und Başar 2014, Güntekin und Başar 2016). In Anlehnung an diese Vermutung scheint es nicht verwunderlich, dass jeweils die als unangenehm eingestuften Bilder ein höheres *Power* Spektrum verursachten. Denn rein evolutionsgeschichtlich betrachtet, ist es für den Menschen überlebenswichtig, Bedrohungen, Gefahren, in welcher Hinsicht auch immer, stärker wahrzunehmen, als neutrale oder angenehme Stimuli. Dass hoch erregende (*high arousal*) Stimuli im Vergleich zu Erregungsarmen (*low arousal*) eine höhere delta *Power* verursacht haben -wie in Abb. 24 graphisch dargestellt-, stimmt mit den Ergebnissen verschiedener Studien überein: Demnach lösten hoch-erregende Bilder eine größere Ereignis-korrelierte delta-Synchronisation aus, verglichen mit Erregungsarmen (Güntekin und Başar 2014).



## 7. Diskussion

### Theta Power:

Wie in Abb. 20 illustriert, haben als unangenehm bewertete *IAPS* Bilder im Zeitbereich von 150-300 ms poststimulus eine höhere theta *Power* verglichen mit angenehmen Bildern gezeigt, d.h., es fand eine Unterscheidung zwischen emotionalen Stimuli statt. Auch der darauffolgende Zeitbereich (300-400 ms), in dem emotionale Stimuli jeweils ein höheres *Power* Spektrum verursachten als Neutrale, unterstützt die Vermutung, dass im theta Bereich besonders die Unterscheidung zwischen angenehm, neutral und unangenehm stattfindet. Solch eine Diskriminierung in der Dimension Wertung (*valence*) eines Stimulus ist konform mit Aftanas et al., die eine Assoziation mit früher, d.h. im Zeitbereich von 200-500 ms poststimulus, synchronisierter theta-Aktivität festgestellt haben (Aftanas et al. 2001).

Im Allgemeinen wird der theta Frequenzbereich als Fingerabdruck von allen limbischen Strukturen betrachtet. Es wird vermutet, dass Ereignis-korrelierten theta-Oszillationen eine Rolle bei Gedächtnis-, Aufmerksamkeits- und kognitiven Prozessen spielen (Güntekin und Başar 2014). Dass emotionale Stimuli, also sowohl als angenehm als auch als unangenehm eingestufte Stimuli, jeweils eine höhere theta *Power* hervorrufen, ist in Einklang mit den Ergebnissen der Metaanalyse von Güntekin und Basar (Güntekin und Başar 2014). Die Differenzierung zwischen hoch-erregenden und erregungsarmen Bilder spielte sich im Zeitbereich von 300-400 ms poststimulus ab, wobei hoch-erregende Stimuli eine höhere theta *Power* als niedrig-erregende Stimuli zeigten, wie in Abb. 25 ersichtlich. Eine solche Diskriminierung in der Dimension Erregung/Aufregung (*arousal*) belegt auch die Studie von Aftanas et al., wobei die Lokalisation eine vollkommen Andere ist: Im theta Frequenzband haben Aftanas et al. festgestellt, dass sowohl moderat als auch hoch-erregende Bilder im Vergleich zu erregungsarmen Bildern eine größere Synchronisation über Elektroden der linken anterioren Region und bilateral im posterioren Bereich verursachten (Aftanas et al. 2002). Trotz der anderen kortikalen Lokalisation trägt das Ergebnis der vorliegenden Studie zur Annahme bei, dass das theta Band in die Detektion affektiver Erregung bzw. Ruhe involviert ist (Aftanas et al. 2002). Zudem ist anzumerken, dass die Amygdala, die eine entscheidende Rolle in Sachen Emotionen einnimmt, in bestimmten emotionalen Zuständen als Generator von theta Aktivität gilt (Garolera et al. 2007).

### Alpha Power:

Im Vergleich zu den anderen Frequenzbändern ist die Auswirkung emotionaler Prozesse auf alpha Antworten weiterhin unklar und die meisten Studien fokussieren sich auf die Analyse der frontalen alpha Asymmetrie (Goodman et al. 2013, Parvaz et al. 2012) oder der Ereignis-

## 7. Diskussion

korrelierten Desynchronisation von alpha Aktivität. Daher ist es umso wichtiger, sich der Analyse Ereignis-korrelierter kortikaler Antworten im alpha Bereich zu widmen, um die Dynamik von alpha Antworten verstehen zu können (Güntekin und Başar 2014), wozu diese Studie einen minimalen Beitrag leistet.

Wie aus Abb. 21 hervorgeht, zeigt sich im Zeitbereich von 250-400 ms eine höhere alpha *Power* für angenehme Bilder im Vergleich zu Neutralen. Dass alpha sensitiv gegenüber Affekt ist, ist kongruent mit Uusberg et al. (Uusberg et al. 2013).

Es wird vermutet, dass niedrige Frequenzen, zu denen auch das alpha Band gezählt wird, komplexe kortiko-kortikale Interaktionen widerspiegeln, die auf sog. Top-down Prozessen beruhen (von Stein und Sarnthein 2000). Wenn dies der Fall ist, könnte der gefundene Unterschied in der alpha *Power* darauf zurückzuführen sein, dass bei angenehmen Bildern diese Vorwissen-gesteuerte Verarbeitung, d.h. die kognitiven Einflüsse (wie z.B. Erfahrungen, Vorwissen, Intentionen) stärker ausgeprägt sind.

### Beta *Power*:

Studien haben gezeigt, dass beta-Aktivität emotionale und kognitive Prozesse widerspiegelt. Bei der Verarbeitung positiver Emotionen ist die beta-Antwort erhöht (Zheng et al. 2017). So auch in der vorliegenden Arbeit, wie aus Abb. 22 hervorgeht, auch wenn die gefundene höhere beta *Power* für angenehme Stimuli im Vergleich zu Neutralen keine statistische Signifikanz aufweist. Allerdings gibt es Studien, die belegen, dass unangenehme *IAPS* Bilder höhere beta-Antworten zum einen im Vergleich zu angenehmen Bildern, zum anderen aber auch in Kontrast zu neutralen Bildern verursachen. Somit scheinen negative Emotionen mit höheren beta-Antworten verbunden zu sein (Güntekin und Başar 2010, Güntekin und Tülay 2014, Woodruff et al. 2011).

### Gamma *Power*:

Experimentelle Studien haben gezeigt, dass hohe Frequenzbänder -höher als 30 Hz- nicht nur in Verbindung mit hohen kognitiven Prozessen stehen, sondern auch mit Verarbeitungsprozessen von Emotionen assoziiert sind (Aydin et al. 2016).

Auch wenn Zheng et al. keine *IAPS* Bilder, sondern emotionale Filmausschnitte als visuelle Stimuli verwendeten, unterstützen sie mit ihrer Studie die Annahme, dass hohe Frequenzbänder mehr Informationen zur Emotionserkennung und -differenzierung beitragen als niedrige Frequenzen (Zheng et al. 2014).

## 7. Diskussion

So konnte in dieser Arbeit eine höhere gamma *Power* für unangenehme Bilder zwischen 50-300 ms poststimulus in Kontrast zu angenehmen Stimuli aufgezeigt werden, wie Abb. 23 visualisiert. Solch eine frühe gamma-Band Aktivität haben auch Keil et al. gefunden und könnte die schnelle Detektion von Merkmalen eines aversiven Stimulus widerspiegeln (Keil et al. 2001).

Forscher sind der Auffassung, dass gamma Oszillationen eine schnelle und automatische Verarbeitung negativer Stimuli reflektieren. Dies könnte von einem phylogenetischen Gesichtspunkt aus folgendermaßen erklärbar sein: Es könnte durchaus ein phylogenetischer Vorteil sein, negativ emotionale Stimuli schneller zu verarbeiten und mit erhöhten physiologischen Vorgängen darauf zu reagieren (Güntekin und Tülay 2014).

Allerdings gibt es Studien, die zu genau gegensätzlichen Ergebnissen geführt haben. So haben Aydin et al., unter Verwendung eines 16-Kanal-EEGs, für angenehme Bilder eine höhere kortikale Aktivität im Vergleich zu unangenehmen Bildern gefunden (Aydin et al. 2016). Auch wenn diese Ergebnisse entgegengesetzt sind, kann dennoch im Allgemeinen festgehalten werden, dass frühe gamma Antworten, d.h. vor 300 ms nach Stimulusbeginn, sensorischen Ursprunges sein könnten und eine gewisse Sensitivität für einfache Merkmale, die mit Emotionalität verbunden sind, aufweisen könnten (Güntekin und Başar 2014).

Zudem stimmen die Ergebnisse mit der Vorstellung überein, dass die integrierte Aktivität verteilter neuronaler Netzwerke, die an der emotionalen Wahrnehmung beteiligt sind, hochfrequente neuronale Aktivität innerhalb und zwischen relevanten Strukturen erfordert (Keil et al. 2001). Dass unangenehme Bilder eine höhere gamma *Power* als neutrale Bilder im Zeitbereich von 150-250 ms poststimulus hervorgerufen haben, ist in Einklang mit der mittels EEG aufgezeichneten gamma-Aktivität von Martini et al. (Martini et al. 2012).

Die aufgezeigte erhöhte gamma *Power* für unangenehme Stimuli im Vergleich zu sowohl angenehmen als auch neutralen Stimuli ist konform mit der Vermutung, dass das Gehirn empfindlicher gegenüber negativen Emotionen ist -ungeachtet der Tatsache, ob hierbei das visuelle oder auditive System stimuliert werden (Martini et al. 2012, Garcia-Garcia et al. 2010, Güntekin und Tülay 2014).

### Power Spektren um die 300 ms – Möglicher Vergleich zur P300-Komponente des EKP

EEG-Studien zeigen, dass angenehme Stimuli einen höheren positiven Ausschlag, also eine höhere Amplitude, um die 300 ms nach Stimulusbeginn verursachen, im Vergleich zu neutralen und unangenehmen Stimuli (Cuthbert et al. 2000, Keil et al. 2002). In der vorliegenden Studie hat sich um die 300 ms herum im theta, alpha und beta Frequenzbereich eine höhere



## 7. Diskussion

*Power* für angenehme Bilder in Kontrast zu Neutralen ergeben. Im delta und theta Bereich zeigte sich zudem höhere *Power* für unangenehme Bilder verglichen mit Neutralen. Dass also affektive Stimuli eine höhere kortikale Antwort um die 300 ms auslösen, ist konform mit weiteren Studien (Lang 1995, Keil et al. 2002).

### Kortikale Lokalisation und anatomische Interpretationsmöglichkeiten:

Die 6 Magnetometer, auf die diese Studie letztendlich fokussiert war, befinden sich im temporo-parietalen Bereich der rechten Hemisphäre.

EEG- und PET-Studien zufolge, scheint die rechte Hemisphäre eine vorherrschende Rolle, relativ zur Linken gesehen, bei der Wahrnehmung emotionaler Stimuli -ungeachtet deren Wertung (*valence*)- in visuellen und auditiven Modalitäten und bei der Regulation des autonomen Nervensystems, assoziiert mit emotionaler Erregung/Aufregung (*arousal*), zu spielen (Lane et al. 1999, Keil et al. 2001, Keil et al. 2002, Müller et al. 1999, Knyazev et al. 2009).

Die Ergebnisse von MEG-Studien weisen darauf hin, dass tatsächlich tiefe Gehirnstrukturen wie Basalganglien, Hippocampus, Thalamus und Amygdala zu den von der Kopfhaut abgeleiteten MEG-Signalen beitragen könnten (Attal et al. 2007, Dumas et al. 2011, Dumas et al. 2013, Chen et al. 2009, Garolera et al. 2007).

Mittels der MEG haben Chen et al. den zeitlichen Verlauf bilateraler Aktivitäten der Inselrinde extrahiert und untermauern mit ihrer Studie die Meinung, dass die Inselrinde in die Verarbeitung von Stimuli involviert ist, welche die emotionale Reaktion von Ekel hervorrufen. Solch eine negative Emotion wird auch durch unangenehme Stimuli, wie z.B. Bildern von Verstümmelung oder Unfällen, evoziert. Zudem wird der Inselrinde die entscheidende Rolle in der Repräsentation interozeptiver Informationen zugesprochen (Chen et al. 2009). Alles in allem könnte die Region, auf die sich die finalen Analysen dieser Studie beziehen, eventuell die Aktivitäten der rechten Inselrinde widerspiegeln.

Aber auch tiefer gelegene Strukturen wie die Amygdala scheinen, Studien zufolge, einen Beitrag zu MEG-Signalen zu leisten. Aber wie kommen Forscher zu dieser Behauptung? Die Amygdala ist eine komplex aufgebaute Struktur, bestehend aus verschiedenen Kernen und ist im medialen Temporallappen neben dem Hippocampus lokalisiert. Es wird vermutet, dass basal und laterale Kerne anatomisch gesehen dem Neokortex sehr ähnlich sind und der basolaterale Kern beispielsweise zu über 90 % aus Pyramidenzellen besteht. Die menschliche Amygdala weist eine mittlere Dichte von 272 Millionen Neurone pro  $\text{cm}^3$  auf. Zum Vergleich, die Dichte an Neuronen im Neokortex wird auf 44 Millionen Neurone pro  $\text{cm}^3$  geschätzt. Somit beinhaltet die Amygdala eine große Population an Pyramidenzellen, von denen

## 7. Diskussion

bekannt ist, dass sie eine Quelle offener Magnetfelder sind. In Simulationsstudien konnte gezeigt werden, dass Amygdala Aktivität ein magnetisches Signal generiert hat, das über dem Rauschsignallevel der MEG Sensoren lag. Die Beteiligung der Amygdala bei der Verarbeitung emotionaler Stimuli -sowohl positiver als auch negativer- ist gut etabliert (Dumas et al. 2011, Dumas et al. 2013). Die Amygdala reagiert auf emotionale Wichtigkeit oder Stimulus Salienz, unabhängig von der Wertung -ob der Inhalt appetitiv/angenehm oder aversiv/unangenehm ist (Phan et al. 2002).

Daher könnte die Hypothese aufgestellt werden, dass sich die in der vorliegenden Arbeit gefundenen MEG-Signale über der rechten Hemisphäre auf eine Amygdala Aktivität zurückführen lassen. Auch der gefundene Zeitbereich der jeweiligen Peaks -die statistischen Analysen der EKF dieser Arbeit ergaben einen Zeitraum von 50-400 ms poststimulus- würde diese Vermutung unterstützen: Effekte von Emotionen auf die Amygdala Aktivität haben sich von ca. 80 ms bis ca. 350 ms poststimulus in der Studie von Dumas et al. widergespiegelt (Dumas et al. 2013). Diese Vermutungen zur anatomischen Lokalisation und Interpretation der Ergebnisse der vorliegenden Studie sind rein hypothetisch. Mit den erhobenen Daten könnten demnach weitere Erforschungen zu neuronalen Netzwerken und anatomischen Korrelaten mittels verschiedener Techniken und Modellvorstellungen angestellt werden.

Hypothese I „Die emotionale Verarbeitung von Bildern der drei Kategorien angenehm, neutral und unangenehm unterscheidet sich in der *Power* sowohl in den Frequenzbändern als auch in der Dimension Erregung (*arousal*) über einem bestimmten Kortexareal“ ist somit anzunehmen.

### **7.2. Subjektive Bewertung der IAPS Bilder**

#### **7.2.1. Stellungnahme zu Hypothese II und III**

Die 60 präsentierten IAPS Bilder aus der Kategorie angenehm erreichten in der Dimension Wertung einen Median von 7,67, woraus geschlossen werden kann, dass die Teilnehmer an dieser Studie angenehme Bilder auch als solche empfunden haben, obwohl das Bildmaterial aus dem letzten Jahrhundert stammt. Davon ausgehend, dass Emotionen durch zwei entgegengesetzt gerichtete subkortikale Systeme (*motivational systems*) entlang der *appetitive-aversive* Dimension gesteuert werden, wobei Ersteres durch angenehme Stimuli und das aver-

## 7. Diskussion

sive/defensive System durch unangenehme Stimuli aktiviert wird (Lang 1995), liegt es also in der Biologie des Menschen, dass angenehme Stimuli über alle Zeiten hinweg als angenehm empfunden werden. Demnach eignen sich die *IAPS* Bilder aus der Kategorie angenehm als Stimuli für Untersuchungen im Bereich der Emotionen.

Der Median in Erregung/Aufregung ist mit 5,00 kleiner als der Median der Referenzgruppe mit 5,11. Folglich waren die Studienteilnehmer weniger aufgeregt, innerlich weniger bewegt beim Betrachten der angenehmen Bilder. Dies könnte daran liegen, dass die Probanden aufgrund der Jahrzehnte, die zwischen dem Entstehen der *IAPS* Bilder und heute, vergangen sind, einen gewissen emotionalen Abstand zu den Fotos haben. Diese emotionale Distanz könnte daraus resultieren, dass sich die Teilnehmer dieser Studie nicht mehr vollkommen mit den dargestellten Szenen identifizieren konnten.

Der Median in der Dimension Dominanz der Versuchspersonen ist mit 6,33 größer als der Median der Referenzgruppe mit 6,03. Folglich haben sich die Studienteilnehmer beim Betrachten der angenehmen Bilder dominanter, d.h. vollständig einflussreich gefühlt. Dieses Gefühl die Kontrolle inne zu haben, könnte daraus resultieren, dass die Fotos im Großen und Ganzen anscheinend familiär waren und die Probanden die ein oder andere dargestellte Begebenheit schon mal durchlebt haben, sich beim Betrachten daran zurückerinnern und dadurch selbstbewusst fühlen.

Grundsätzlich ist anzumerken, dass Bewertungen für die Dimension Wertung mit einer Skala erfasst werden, die von positiv (glücklich, zufrieden, hoffnungsvoll, befriedigt) zu negativ (unglücklich, unzufrieden, enttäuscht, melancholisch) reicht (Lang et al. 2008). Dies impliziert, dass zum einen positiv und negativ die beiden Endpunkte desselben zugrundeliegenden Emotionskonstrukts sind und zum anderen positive und negative Gefühle in ihrer Summe Null ergeben. Allerdings könnte es im täglichen Leben Situationen geben, in denen Menschen sowohl positive, als auch negative Gefühle haben, was als ambivalent definiert ist. Studien haben gezeigt, dass Ambivalenz allerdings mit einer höheren Bewertung in der Dimension Erregung/Aufregung assoziiert ist (Schneider et al. 2016).

Die 60 gezeigten *IAPS* Bilder aus der Kategorie neutral erreichten in der Dimension Wertung bei den Studienteilnehmern einen Median von 5,00, der wiederum größer ist als der Median der Referenzdaten mit 4,88. Auch wenn dieser Unterschied statistische Signifikanz aufweist, liegen beide Median-Werte um den Mittelpunkt einer 9-Punkte Skale herum, was von der Skala her als neutral definiert wurde. Ein Beispiel für einen solchen neutralen Stimulus ist das Bild eines Stuhles. Die meisten Menschen fühlen sich in Bezug auf einen Stuhl gleichgültig

## 7. Diskussion

und reflektieren weder positive noch negative Gefühle und somit wird ein Stuhl auf der Skala einen solchen Wert um den Mittelpunkt herum erreichen (Schneider et al. 2016), wie es in der vorliegenden Studie der Fall ist.

Der Median in der Erregung/Aufregung der Probanden ist mit 1,00 kleiner als der Median der Referenzdaten von 3,01. Dies bedeutet, dass die *IAPS* Bilder, die als neutral katalogisiert wurden, auch wirklich eine neutrale Stimmungslage in den Versuchspersonen hervorgerufen zu haben scheinen und nicht wie Schneider et al. angemerkt haben, den Betrachter in einen gefühlsmäßig ambivalenten Zustand versetzen. Denn Letzteres würde mit höheren Bewertungen in der Dimension Erregung/Aufregung einhergehen (Schneider et al. 2016).

Der Median in der Dimension Dominanz der Studienteilnehmer ist mit 7,67 größer als der Median der Referenzdaten mit 5,92. Die Teilnehmer dieser Studie hatten also deutlicher das Gefühl, dominanter gegenüber den neutralen Fotos zu sein. Dies könnte daran liegen, dass wir Menschen uns gegenüber Alltagsgegenständen wie Schuhe, Besteck oder Möbelstücken überlegen fühlen.

Die 60 gezeigten *IAPS* Bilder aus der Kategorie unangenehm erreichten in der Dimension Wertung unter den Probanden einen Median von 1,00. Unangenehme Fotos wurden folglich auch als solche empfunden. Dieser Median-Wert ist zudem kleiner als der Median der Referenzdaten mit 2,04 und dieser Unterschied war statistisch signifikant.

Die Hypothese, dass durch die allgegenwärtige Präsenz von mit Gewalt behaftetem Inhalt, wozu nicht nur die verschiedensten Fernsehformate, wie Nachrichten oder Dokumentationen, beitragen, sondern auch das Internet oder Computerspiele -um hier nur einige wenige Vertreter des heutigen Massenmedienreichtums aufzuzählen- zur Abstumpfung des Rezipienten geführt hat (Kulcsar 2005, Schweidler 2018), ist somit widerlegt.

Auch wenn man den Fragebogen zur Vorliebe der Filmkategorien miteinbezieht, kann diese Habitualisierungstheorie nicht bestätigt werden. Denn die Probanden haben auf einer Skala von 0 bis 10 -wobei die Zahl 0 bedeutet, dass diese Filmkategorie nicht geschaut wird und die Zahl 10 folglich die absolute Vorliebe widerspiegelt- mit einem Mittelwert von 4,86 +/- 3,48 angegeben, Thriller-/Horrorfilme zu schauen.

Auch Krimiserien, die ebenso wie Thriller-/Horrorfilme die Vermutung zulassen, nach häufigem Schauen gegenüber als unangenehm katalogisierte *IAPS* Bilder emotional abgestumpft zu sein, haben unter den Studienteilnehmern einen Mittelwert von 6,73 +/- 2,41 erreicht.

In der Dimension Erregung/Aufregung konnte kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Bewertungen heute (Probanden) und früher (Referenzdaten) gefunden werden: Der

## 7. Diskussion

Median der Probanden lag bei 6,33 und der Median der Referenzdaten bei 6,62. Folglich versetzen auch heute noch als unangenehm katalogisierte *IAPS* Bilder, wie Schlangen, Unfälle, Waffen oder Verstümmelungen, den Betrachter in Aufregung. Die Bilder bewegen den Rezipienten innerlich, ungeachtet welches Jahrhundert oder Jahrzehnt.

Dies könnte in der Evolution des Menschen begründet sein. Denn auch wenn der Mensch immer neuen Bedrohungen begegnet, neben evolutionären Bedrohungen wie z.B. Raubtieren oder Schlangen, zunehmend Modernen, wie beispielsweise Waffen oder Unfälle (Dhum et al. 2017), wird nichtsdestotrotz bei Wahrnehmung solcher Stimuli eine Art Überlebensreflex den Menschen in eine hellwache Lage versetzen. Egal wie evolutionär alt, modern, innovativ, gewohnt die Bedrohung für den Betrachter auch sein mag.

Denn Emotionen sind in Motivationssystemen begründet, die auf sensorische Systeme zurückzuführen sind, die die Wachsamkeit und Informationsgewinnung erhöhen und v.a. reflexive autonome und motorische Reaktionen auslösen, die evolutionsgeschichtlich gesehen, Bedrohungen direkt entgegenwirken (Lang und Bradley 2010).

In der Dimension Dominanz ist der Median der Versuchspersonen mit 3,67 größer als der Median der Referenzdaten mit 3,03 und dieser Unterschied war statistisch signifikant. Allerdings ist anzumerken, dass sich -gemäß der Skalenrichtung- sowohl die Probanden als auch die Referenzgruppe jeweils vom Bild dominiert gefühlt haben, mit einer leichten Tendenz zu einer indifferenten Haltung. Hier findet sich demnach kein grundlegender Unterschied.

Grundsätzlich ist anzumerken, dass die erhobenen Daten als Mittelung über alle Probanden pro Bildkategorie und Dimension mit den Referenzdaten der Literatur verglichen wurden. Folglich wurde lediglich eine interindividuelle Varianz berücksichtigt, intraindividuelle Unterschiede wurden nicht mit einberechnet.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass Hypothese II „Die subjektiven Bewertungen differieren aufgrund des aus dem letzten Jahrhundert stammenden Bildmaterials und der damit einhergehenden emotionalen Distanzierung“ anzunehmen ist, auch wenn intraindividuelle Unterschiede nicht berücksichtigt wurden.

Hypothese III „Aufgrund des Einflusses der Massenmedien und der damit postulierten Abstumpfung gegenüber violenten, leidvollen Inhalten zeigen sich sowohl höhere Bewertungen in der Kategorie Wertung, als auch niedrigere Bewertungen in der Kategorie Erregung/Aufregung der subjektiven Bewertungen zur heutigen Zeit verglichen mit denen Ende

## 7. Diskussion

des letzten Jahrhunderts in Hinblick auf das als unangenehm katalogisierte *IAPS* Bildmaterial“ ist abzulehnen.

### 7.2.2. Stellungnahme zu Hypothese IV

Für die Kategorie angenehm hat sich ein Zusammenhang zwischen Wertung und Erregung/Aufregung gezeigt. Die Variable Erregung/Aufregung hat einen Regressionskoeffizient  $B$  von 0,333, was bedeutet, dass für jede Einheit Erregung/Aufregung die Wertung um 0,333 ansteigt (siehe Tab. 7). Auch die Kategorie unangenehm belegt einen Zusammenhang zwischen Wertung und Erregung/Aufregung, wobei die Variable Erregung/Aufregung einen Regressionskoeffizienten  $B$  von -0,340 aufweist (siehe Tab. 8).

All dies ist in sich schlüssig und im Einklang mit der Literatur.

Dass die Dimension Erregung/Aufregung der Intensität der positiven (hohe Wertung = angenehm) oder negativen (niedrige Wertung = unangenehm) Wertung entspricht, hat seine Wurzeln in psychobiologischen Theorien von Motivation und Persönlichkeit. Diese besagen, dass das, was als Erregung empfunden bzw. berichtet wird, das Niveau der Aktivität der beiden voneinander unabhängigen Motivationssystemen, dem positiven appetitiven und dem negativen aversiven/defensiven System, widerspiegelt. Je mehr folglich eines der beiden Motivationssysteme aktiviert wird, desto mehr Energie -einhergehend mit einer hohen Bewertung in der Dimension Erregung/Aufregung- wird mobilisiert, um mit den Anforderungen der Umwelt umzugehen (Cuthbert et al. 2000, Kuppens et al. 2013).

In Bezug auf die Dimension Dominanz zeigt sich rein statistisch betrachtet ein Zusammenhang zwischen Wertung und Dominanz für die Kategorie angenehm (siehe Tab. 7). Eine hohe Wertung spiegelt sich in einer eher hohen Dominanz wider. Dies bedeutet, dass sich die Studienteilnehmer beim Betrachten von als angenehm eingestufter Bilder vollkommen einflussreich, autonom und damit nicht kontrolliert gefühlt haben.

Für die Kategorie unangenehm konnte kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Wertung und Dominanz gefunden werden (siehe Tab. 8). Rein visuell betrachtet (siehe oberes Punkt-/Streudiagramm aus Abb. 27) zeichnet sich aber mehrheitlich eine Tendenz zu einer niedrigen Dominanz ab. Dies geht konform mit Bradley und Lang, die hierbei als Beispiel das Bild einer Schlange aufführen: Eine Schlange wurde demnach verständlicherweise als wenig angenehm (niedrige Wertung) und hoch erregend (hohe Erregung/Aufregung) bewertet, ein-

## 7. Diskussion

hergehend mit dem Gefühl, nicht die Kontrolle inne zuhaben (niedrige Dominanz) (Bradley und Lang 1994).

Für die Kategorie neutral haben sich sowohl zwischen Wertung und Erregung/Aufregung als auch zwischen Wertung und Dominanz statistisch signifikante Zusammenhänge gezeigt (siehe Tab. 9). Visuell betrachtet (siehe oberes Punkt-/Streudiagramm aus Abb. 28), führt mehrheitlich eine neutrale Wertung zu einer hohen Dominanz. Dies könnte daran liegen, dass wir Menschen uns gegenüber Alltagsgegenständen, die zumeist die Bildkategorie neutral repräsentieren, indifferent bis dominant fühlen, da wir die Kontrolle innehaben. Schuhe werden z.B. tagtäglich von uns angezogen, Besteck benutzt oder ein Stuhl als Sitzgelegenheit genutzt. Dass eine neutrale Wertung mit einer niedrigen Erregung/Aufregung einhergeht (siehe mittleres Punkt-/Streudiagramm aus Abb. 28), ist folglich auch nicht verwunderlich, da dies eine neutrale emotionale Lage/Einstellung, definiert. Somit scheinen diese Zusammenhänge für eine neutrale Stimmungslage logisch erklärbar.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Bewertungen von steigender Wertung (angenehm) bzw. fallender Wertung (unangenehm) im Allgemeinen positiv mit Berichten über größere Erregung korrelieren (Cuthbert et al. 2000, Kuppens et al. 2013). Und auch wenn die Ergebnisse für die Dimension Dominanz nicht alle statistische Signifikanz aufweisen, kann dennoch schlussendlich die Hypothese IV „Die drei Bewertungskategorien hängen miteinander zusammen: Eine niedrige Wertung geht mit einer hohen Erregung/Aufregung und einer niedrigen Dominanz einher, während eine hohe Wertung mit einer hohen Erregung/Aufregung und einer hohen Dominanz vergesellschaftet ist“ nicht abgelehnt werden.

## 8. Schlussfolgerungen und Ausblick

Diese Studie hat aufgezeigt, dass sich die MEG als Messmethode zur Darstellung kortikaler Antworten der Emotionsverarbeitung eignet.

Allgemein betrachtet, sind die Ergebnisse zur kortikalen Verarbeitung visueller affektiver Stimuli mit einer Metaanalyse vereinbar, die die Resultate von EEG-Studien zu Ereignis-korrelierten Potentialen der letzten mehr als 40 Jahre beleuchtet, die ebenfalls Bilder unterschiedlicher emotionaler Gewichtung zur Untersuchung verwendeten: Die Wertung eines Bildes (*valence*: angenehm vs. unangenehm) beeinflusst relativ frühe Komponenten (100-250 ms), während hingegen die Erregung/Aufregung (*arousal*: *high* vs. *low*) spätere Komponenten (ab 200 ms) moduliert (Olofsson et al. 2008).

Zudem zeigte sich in der vorliegenden Arbeit, dass die Wertung bevorzugt in höheren Frequenzbereichen (beta und gamma) repräsentiert wird, während die Erregung/Aufregung in niedrigen Frequenzbereich (delta und theta) abgebildet wird (Güntekin und Başar 2014).

Die subjektive Bewertung der *IAPS* Bilder zeigte hohen Übereinstimmungen, was die grundlegende Richtung der ausgelösten Emotionslage (angenehm, neutral, unangenehm) betrifft. Jedoch haben sich auch Unterschiede ergeben, die am ehesten zeitabhängig in Hinblick auf soziokulturelle Veränderungen interpretierbar sind.

Die erhobenen MEG-Daten wurden auf Sensorebene analysiert und interpretiert.

Um der Frage nachzugehen, worin anatomisch gesehen die gefundenen EKF begründet sein könnten, könnten die bereits existierenden MEG-Datensätze mittels Quellenrekonstruktion weiter untersucht werden.

Zudem könnten die erhobenen EEG-Datensätze auf Sensorebene final analysiert werden, wodurch sich dann durch die Kombination der MEG und EEG noch genauere Aussagen treffen lassen könnten, da sich diese beiden Messmethoden ergänzen (Nowak et al. 1999).

Unter Berücksichtigung der intraindividuellen Varianz bei den subjektiven Bewertungen der *IAPS* Bilder könnten die vorhandenen Datensätze erneut statistisch analysiert werden.



## 9. Verzeichnisse

### 9.1. Literaturverzeichnis

- Aftanas LI, Varlamov AA, Pavlov SV, Makhnev VP, Reva NV. 2001. Affective picture processing: event-related synchronization within individually defined human theta band is modulated by valence dimension. *Neurosci Lett*, 303 (2):115-118.
- Aftanas LI, Varlamov AA, Pavlov SV, Makhnev VP, Reva NV. 2002. Time-dependent cortical asymmetries induced by emotional arousal: EEG analysis of event-related synchronization and desynchronization in individually defined frequency bands. *Int J Psychophysiol*, 44 (1):67-82.
- Anderson CA, Bushman BJ. 2002. The effects of media violence on society. *Science*, 295 (5564):2377-2379.
- Attal Y, Bhattacharjee M, Yelnik J, Cottureau B, Lefevre J, Okada Y, Bardinet E, Chupin M, Baillet S. 2007. Modeling and detecting deep brain activity with MEG & EEG. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, 2007:4937-4940.
- Aydin S, Demirtaş S, Ateş K, Tunga MA. 2016. Emotion recognition with eigen features of frequency band activities embedded in induced brain oscillations mediated by affective pictures. *International journal of neural systems*, 26 (03):1650013.
- Ballstaedt S-P. 2004. Kognition und Wahrnehmung in der Informations-und Wissensgesellschaft. Hans-Dieter Kübler & Elmar Elling (Hg), Wissensgesellschaft Neue Medien und ihre Konsequenzen Bonn: Bundeszentrale für politische Bildung Online: [www.bpb.de/files/HA65KC.pdf](http://www.bpb.de/files/HA65KC.pdf).
- Bergmeir C. 2005. Independent Component Analysis.
- Bos DO. 2006. EEG-based emotion recognition. The Influence of Visual and Auditory Stimuli:1-17.
- Bradley MM, Lang PJ. 1994. Measuring emotion: the Self-Assessment Manikin and the Semantic Differential. *J Behav Ther Exp Psychiatry*, 25 (1):49-59.

## 9. Verzeichnisse

Bradley MM, Lang PJ. 2000. Emotion and motivation. Handbook of psychophysiology, 2:602-642.

Bradley MM, Lang PJ. 2007. The International Affective Digitized Sounds (; IADS-2): Affective ratings of sounds and instruction manual. University of Florida, Gainesville, FL, Tech Rep B-3.

Bradley MM, Hamby S, Low A, Lang PJ. 2007. Brain potentials in perception: picture complexity and emotional arousal. Psychophysiology, 44 (3):364-373.

Bressler SL, Ding M. 2006. Event-Related Potentials. Wiley encyclopedia of biomedical engineering.

Cacioppo JT, Berntson GG, Larsen JT, Poehlmann KM, Ito TA. 2000. The psychophysiology of emotion. Handbook of emotions, 2:173-191.

Chen YH, Dammers J, Boers F, Leiberg S, Edgar JC, Roberts TP, Mathiak K. 2009. The temporal dynamics of insula activity to disgust and happy facial expressions: a magnetoencephalography study. Neuroimage, 47 (4):1921-1928.

Cohen D, Halgren E. 2003. Magnetoencephalography (neuromagnetism). Encyclopedia of neuroscience, 3:1-7.

Cohen D, Edelsack EA, Zimmerman JE. 1970. Magnetocardiograms taken inside a shielded room with a superconducting point-contact magnetometer. Applied Physics Letters, 16 (7):278-280.

Craig A. 2008. Interoception and emotion: a neuroanatomical perspective. Handbook of emotions, 3 (602):272-288.

Cuthbert BN, Schupp HT, Bradley MM, Birbaumer N, Lang PJ. 2000. Brain potentials in affective picture processing: covariation with autonomic arousal and affective report. Biol Psychol, 52 (2):95-111.

## 9. Verzeichnisse

- Del Gratta C, Pizzella V, Tecchio F, Romani GL. 2001. Magnetoencephalography-a noninvasive brain imaging method with 1 ms time resolution. *Reports on Progress in Physics*, 64 (12):1759.
- Dhum M, Herwig U, Opialla S, Siegrist M, Brühl AB. 2017. Evolutionary and Modern Image Content Differentially Influence the Processing of Emotional Pictures. *Frontiers in human neuroscience*, 11:415.
- Dobel C, Miltner WH, Witte OW, Volk GF, Guntinas-Lichius O. 2013. [Emotional impact of facial palsy]. *Laryngorhinootologie*, 92 (1):9-23.
- Dumas T, Attal Y, Dubal S, Jouvent R, George N. 2011. Detection of activity from the amygdala with magnetoencephalography. *IRBM*, 32 (1):42-47.
- Dumas T, Dubal S, Attal Y, Chupin M, Jouvent R, Morel S, George N. 2013. MEG evidence for dynamic amygdala modulations by gaze and facial emotions. *PLoS One*, 8 (9):e74145.
- Ekman P. 1993. Facial expression and emotion. *Am Psychol*, 48 (4):384-392.
- Garcia-Garcia M, Yordanova J, Kolev V, Domínguez-Borràs J, Escera C. 2010. Tuning the brain for novelty detection under emotional threat: the role of increasing gamma phase-synchronization. *Neuroimage*, 49 (1):1038-1044.
- Garolera M, Coppola R, Munoz KE, Elvevag B, Carver FW, Weinberger DR, Goldberg TE. 2007. Amygdala activation in affective priming: a magnetoencephalogram study. *Neuroreport*, 18 (14):1449-1453.
- Goodman RN, Rietschel JC, Lo LC, Costanzo ME, Hatfield BD. 2013. Stress, emotion regulation and cognitive performance: the predictive contributions of trait and state relative frontal EEG alpha asymmetry. *Int J Psychophysiol*, 87 (2):115-123.
- Güntekin B, Başar E. 2010. Event-related beta oscillations are affected by emotional eliciting stimuli. *Neuroscience letters*, 483 (3):173-178.

## 9. Verzeichnisse

- Güntekin B, Başar E. 2014. A review of brain oscillations in perception of faces and emotional pictures. *Neuropsychologia*, 58:33-51.
- Güntekin B, Tülay E. 2014. Event related beta and gamma oscillatory responses during perception of affective pictures. *Brain research*, 1577:45-56.
- Güntekin B, Başar E. 2016. Review of evoked and event-related delta responses in the human brain. *International Journal of Psychophysiology*, 103:43-52.
- Hämäläinen M, Hari R, Ilmoniemi RJ, Knuutila J, Lounasmaa OV. 1993. Magnetoencephalography—theory, instrumentation, and applications to noninvasive studies of the working human brain. *Reviews of modern Physics*, 65 (2):413.
- Hyvärinen A, Oja E. 2000. Independent component analysis: algorithms and applications. *Neural networks*, 13 (4):411-430.
- Jung R, Berger W. 1979. Hans Bergers Entdeckung des Elektrenkephalogramms und seine ersten Befunde 1924–1931. *Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten*, 227 (4):279-300.
- Keil A, Müller MM, Gruber T, Wienbruch C, Stolarova M, Elbert T. 2001. Effects of emotional arousal in the cerebral hemispheres: a study of oscillatory brain activity and event-related potentials. *Clinical neurophysiology*, 112 (11):2057-2068.
- Keil A, Bradley MM, Hauk O, Rockstroh B, Elbert T, Lang PJ. 2002. Large-scale neural correlates of affective picture processing. *Psychophysiology*, 39 (5):641-649.
- Kim MK, Kim M, Oh E, Kim SP. 2013. A review on the computational methods for emotional state estimation from the human EEG. *Comput Math Methods Med*, 2013:573734.
- Knyazev GG, Slobodskoj-Plusnin JY, Bocharov AV. 2009. Event-related delta and theta synchronization during explicit and implicit emotion processing. *Neuroscience*, 164 (4):1588-1600.

## 9. Verzeichnisse

- Kulcsar G. 2005. Gewaltdarstellungen in den Medien und Ihre Wirkungen auf die Aggressionsbereitschaft. *Studia Iuridica Auctoritate Universitatis Pecs Publicata*, 138:213.
- Kuppens P, Tuerlinckx F, Russell JA, Barrett LF. 2013. The relation between valence and arousal in subjective experience. *Psychological Bulletin*, 139 (4):917.
- Lane RD, Chua PM, Dolan RJ. 1999. Common effects of emotional valence, arousal and attention on neural activation during visual processing of pictures. *Neuropsychologia*, 37 (9):989-997.
- Lang P, Bradley MM. 2007. The International Affective Picture System (IAPS) in the study of emotion and attention. *Handbook of emotion elicitation and assessment*, 29.
- Lang PJ. 1995. The emotion probe. *Studies of motivation and attention. Am Psychol*, 50 (5):372-385.
- Lang PJ, Bradley MM. 2010. Emotion and the motivational brain. *Biological psychology*, 84 (3):437-450.
- Lang PJ, Bradley MM, Cuthbert BN. 1990. Emotion, attention, and the startle reflex. *Psychol Rev*, 97 (3):377-395.
- Lang PJ, Bradley MM, Cuthbert BN. 1997. International affective picture system (IAPS): Technical manual and affective ratings. NIMH Center for the Study of Emotion and Attention:39-58.
- Lang PJ, Bradley MM, Cuthbert BN. 2008. International affective picture system (IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual. Technical report A-8.
- LeDoux J. 2003. The emotional brain, fear, and the amygdala. *Cell Mol Neurobiol*, 23 (4-5):727-738.
- Liang K-Y, Zeger SL. 1986. Longitudinal data analysis using generalized linear models. *Biometrika*, 73 (1):13-22.

## 9. Verzeichnisse

- Martini N, Menicucci D, Sebastiani L, Bedini R, Pingitore A, Vanello N, Milanesi M, Landini L, Gemignani A. 2012. The dynamics of EEG gamma responses to unpleasant visual stimuli: From local activity to functional connectivity. *NeuroImage*, 60 (2):922-932.
- Müller MM, Keil A, Gruber T, Elbert T. 1999. Processing of affective pictures modulates right-hemispheric gamma band EEG activity. *Clinical Neurophysiology*, 110 (11):1913-1920.
- Nowak H, Giessler F, Huonker R. 1991. Multichannel magnetography in unshielded environments. *Clin Phys Physiol Meas*, 12 Suppl B:5-11.
- Nowak H, Giessler F, Huonker R, Haueisen J, Rother J, Eiselt M. 1999. A 16-channel SQUID-device for biomagnetic investigations of small objects. *Med Eng Phys*, 21 (8):563-568.
- Olofsson JK, Nordin S, Sequeira H, Polich J. 2008. Affective picture processing: an integrative review of ERP findings. *Biological psychology*, 77 (3):247-265.
- Oostenveld R, Fries P, Maris E, Schoffelen J-M. 2011. FieldTrip: open source software for advanced analysis of MEG, EEG, and invasive electrophysiological data. *Computational intelligence and neuroscience*, 2011:1.
- Parvaz MA, MacNamara A, Goldstein RZ, Hajcak G. 2012. Event-related induced frontal alpha as a marker of lateral prefrontal cortex activation during cognitive reappraisal. *Cogn Affect Behav Neurosci*, 12 (4):730-740.
- Phan KL, Wager T, Taylor SF, Liberzon I. 2002. Functional neuroanatomy of emotion: a meta-analysis of emotion activation studies in PET and fMRI. *Neuroimage*, 16 (2):331-348.
- Picton TW. 1992. The P300 wave of the human event-related potential. *J Clin Neurophysiol*, 9 (4):456-479.
- Picton TW, Bentin S, Berg P, Donchin E, Hillyard SA, Johnson R, Jr., Miller GA, Ritter W, Ruchkin DS, Rugg MD, Taylor MJ. 2000. Guidelines for using human event-related

## 9. Verzeichnisse

- potentials to study cognition: recording standards and publication criteria. *Psychophysiology*, 37 (2):127-152.
- Pizzella V, Della Penna S, Del Gratta C, Romani GL. 2001. SQUID systems for biomagnetic imaging. *Superconductor Science and Technology*, 14 (7):R79.
- Rogers RL, Baumann SB, Papanicolaou AC, Bourbon TW, Alagarsamy S, Eisenberg HM. 1991. Localization of the P3 sources using magnetoencephalography and magnetic resonance imaging. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 79 (4):308-321.
- Romani GL, Williamson SJ, Kaufman L. 1982. Biomagnetic instrumentation. *Rev Sci Instrum*, 53 (12):1815-1845.
- Sato S, Balish M, Muratore R. 1991. Principles of magnetoencephalography. *J Clin Neurophysiol*, 8 (2):144-156.
- Schneider IK, Veenstra L, van Harreveld F, Schwarz N, Koole SL. 2016. Let's not be indifferent about neutrality: Neutral ratings in the International Affective Picture System (IAPS) mask mixed affective responses. *Emotion*, 16 (4):426.
- Schweidler W. 2018. Ethik im Zeitalter der Information und Medien. *Kleine Einführung in die Angewandte Ethik*. Springer, 205-223.
- Taulu S, Kajola M. 2005. Presentation of electromagnetic multichannel data: the signal space separation method. *Journal of Applied Physics*, 97 (12):124905.
- Tiedt HO, Beier KM, Lueschow A, Pauls A, Weber JE. 2014. A different pattern of lateralised brain activity during processing of loved faces in men and women: a MEG study. *Biological psychology*, 103:255-261.
- Trepel M. 2008. *Neuroanatomie: Struktur und Funktion*. Elsevier, Urban&FischerVerlag.
- Tsolaki AC, Kosmidou VE, Kompatsiaris IY, Papadaniil C, Hadjileontiadis L, Tsolaki M. 2017. Age-induced differences in brain neural activation elicited by visual emotional stimuli: A high-density EEG study. *Neuroscience*, 340:268-278.

## 9. Verzeichnisse

- Ueno S, Iramina K. 1990. Modeling and source localization of MEG activities. *Brain Topography*, 3 (1):151-165.
- Uusberg A, Uibo H, Kreegipuu K, Allik J. 2013. EEG alpha and cortical inhibition in affective attention. *Int J Psychophysiol*, 89 (1):26-36.
- von Stein A, Sarnthein J. 2000. Different frequencies for different scales of cortical integration: from local gamma to long range alpha/theta synchronization. *Int J Psychophysiol*, 38 (3):301-313.
- Woodruff CC, Daut R, Brower M, Bragg A. 2011. Electroencephalographic  $\alpha$ -band and  $\beta$ -band correlates of perspective-taking and personal distress. *Neuroreport*, 22 (15):744-748.
- Zheng W-L, Zhu J-Y, Lu B-L. 2017. Identifying stable patterns over time for emotion recognition from EEG. *IEEE Transactions on Affective Computing*.
- Hrsg. 2014. EEG-based emotion classification using deep belief networks. *Multimedia and Expo (ICME), 2014 IEEE International Conference on*. IEEE.
- Zoubir AM, Boashash B. 1998. The bootstrap and its application in signal processing. *IEEE signal processing magazine*, 15 (1):56-76.

### Internetquelle:

FieldTrip-The MATLAB toolbox for MEG and EEG analysis –  
Introduction to the FieldTrip toolbox – The FieldTrip toolbox  
[Online im Internet:] URL: <http://www.fieldtriptoolbox.org/tutorial/introduction> [Last modified: 17.08.2017, 12:34] [Stand: 26.01.2018, 8:23]



## **9.2. Verzeichnis über die verwendeten IAPS Bilder**

IAPS Nummer für die Kategorie angenehm (*pleasant*):

2170 2311 4670 2360 4652 2050 2165 4651 2341 4690 2160 4658 2080 2340 4650 4660  
4659 4664 4680 2070 7470 8205 2055,2 5994 4608 8300 7400 4810 8467 8161 5300 7499  
8206 8280 4612 2155 8001 2362 4687 4607 4610 4622 5820 1590 8120 5270 1340 5831  
4640 8080 2388 2598 5781 2224 4623 7270 2222 7230 2345 8180

IAPS Nummer für die Kategorie neutral (*neutral*):

2480 7235 2570 9070 7010 7040 7009 7233 2230 7030 2850 7020 7080 2210 2440 2381  
7175 2200 2190 7002 7031 5130 7224 7006 2104 7186 5535 7184 2512 7018 2393 7011  
2446 7287 7036 2830 7110 2383 7491 7038 7056 2102 7185 2516 2214 7059 2890 2396  
2595 7179 2880 7950 7187 5531 2411 7207 7255 7017 7041 2377

IAPS Nummer für die Kategorie unangenehm (*unpleasant*):

6260 3102 3130 3060 3051 3110 1201 3071 1300 3000 6510 1050 6540 1930 3530 6350  
1120 9405 3080 3010 3068 3131 9183 9410 9325 3001 3030 3170 9185 9921 3225 3064  
9412 6520 3015 6313 3069 9800 3059 9413 3195 9006 2811 6821 2688 3103 9322 6550  
6231 9428 9910 9905 9908 6570 6838 2981 6250,1 6312 9420 3500

## **9.3. Abbildungsverzeichnis**

*Abb. 1: SAM-Figuren, Zeichnung von Sandra Heginger nach der Vorlage von (Lang et al. 2008). Oben sind die SAM-Figuren in der Dimension Wertung, in der Mitte die SAM-Figuren in der Dimension Erregung/Aufregung und unten die SAM-Figuren in der Dimension Dominanz dargestellt*

*Abb. 2: Blick auf eine Studienteilnehmerin, die in Einheitsklamotten auf dem Stuhl im MEG-Messraum des Biomagnetischen Zentrums, UKJ, sitzt. Sie ist bereits mit EEG-Haube, EKG- und EOG-Elektroden, Atemsensor und Erdungsband ausgestattet und an das Elekta Neuromag® angeschlossen. Foto: Sandra Heginger*

*Abb. 3: Ein Beispiel zur Verwendung der Funktion `ft_rejectvisual`*

*Abb. 4: Ein Beispiel für einen Ausschnitt der Independent Component Analysis (ICA) von einer Versuchsperson*

## 9. Verzeichnisse

*Abb. 5: Topographische Darstellung der EKF auf Sensorebene einer Versuchsperson für die Magnetometer, dargestellt durch die Funktion `ft_multiplotER` und kalkuliert mithilfe der Funktion `ft_timelockanalysis`*

*Abb. 6: Ausschnitt des mit einem Rechteck umrandeten Magnetometer MEG1341 aus Abb. 5: EKF für die drei Kategorien angenehm (blau), unangenehm (rot) und neutral (grün) des einzelnen Sensors, dargestellt in der Zeitspanne von 1000 ms vor Stimulusbeginn bis 2000 ms nach Stimulusbeginn*

*Abb. 7: Topographische Darstellung der EKF auf Sensorebene einer Versuchsperson für die Gradiometer, dargestellt durch die Funktion `ft_multiplotER` und kalkuliert mithilfe der Funktion `ft_timelockanalysis`*

*Abb. 8: Ausschnitt der mit einem Rechteck umrandeten Gradiometer MEG1342, MEG1343 aus Abb. 7: EKF für die drei Kategorien angenehm (blau), unangenehm (rot) und neutral (grün) einzelner Sensoren, dargestellt in der Zeitspanne von 1000 ms vor Stimulusbeginn bis 2000 ms nach Stimulusbeginn*

*Abb. 9: Topographische Darstellung der EKP auf Sensorebene einer Versuchsperson, dargestellt durch die Funktion `ft_multiplotER` und kalkuliert mithilfe der Funktion `ft_timelockanalysis`*

*Abb. 10: Ausschnitt des mit einem Rechteck umrandeten EEG-Kanals EEG043 aus Abb. 9: EKF für die drei Kategorien angenehm (blau), unangenehm (rot) und neutral (grün) eines einzelnen Sensors, dargestellt in der Zeitspanne von 1000 ms vor Stimulusbeginn bis 2000 ms nach Stimulusbeginn*

*Abb. 11: Ein Beispiel der Frequenzanalyse für eine Versuchsperson im EEG in der Kategorie neutral, dargestellt mithilfe der Funktion `ft_multiplotTFR`*

*Abb. 12: Ein Beispiel der Frequenzanalyse für eine Versuchsperson im EEG in der Kategorie unangenehm, dargestellt mithilfe der Funktion `ft_multiplotTFR`*

*Abb. 13: Ein Beispiel der Frequenzanalyse für eine Versuchsperson im EEG in der Kategorie angenehm, dargestellt mithilfe der Funktion `ft_multiplotTFR`*

*Abb. 14: Ein Beispiel der Frequenzanalyse für eine Versuchsperson im MEG (Magnetometer) in der Kategorie angenehm, dargestellt mithilfe der Funktion `ft_multiplotTFR`*

## 9. Verzeichnisse

*Abb. 15: Ein Beispiel der Frequenzanalyse für eine Versuchsperson im MEG (Magnetometer) in der Kategorie neutral, dargestellt mithilfe der Funktion ft\_multiplotTFR*

*Abb. 16: Ein Beispiel der Frequenzanalyse für eine Versuchsperson im MEG (Magnetometer) in der Kategorie unangenehm, dargestellt mithilfe der Funktion ft\_multiplotTFR*

*Abb. 17: Balkendiagramme eines Studienteilnehmers als Beispiel nach insgesamt 600 Bootstrapping Schritten. Auf der x-Achse sind die Kanal-Nummern der 120 Magnetometern und auf der y-Achse die Bootstrapping Schritte aufgetragen. Es zeigen sich die Kanäle mit den höchsten Unterschieden in den EKF zwischen den Kategorien angenehm und neutral (oben), unangenehm und neutral (Mitte) und angenehm und unangenehm (unten)*

*Abb. 18: Positionen der MEG-Kanäle in unserem Layout. Die pinkfarbenen Punkte repräsentieren die Elektroden bei unseren Messungen für alle 18 Studienteilnehmer. Die Kanal-Nummern sind folgende: MEG1311, MEG 1321, MEG1331, MEG 1341, MEG 2411, MEG2421*

*Abb. 19: Power Spektrum für die drei Kategorien angenehm(blau), neutral (grün) und unangenehm (rot) gemittelt über alle 18 Studienteilnehmer, zwischen 500 ms vor Stimulusbeginn bis 1500 ms nach Stimulusbeginn. Der Plot vergleicht die mittleren Amplituden der EKF über den 6 Magnetometern im delta Frequenzbereich*

*Abb. 20: Power Spektrum für die drei Kategorien angenehm (blau), neutral (grün) und unangenehm (rot) gemittelt über alle 18 Studienteilnehmer, zwischen 500 ms vor Stimulusbeginn bis 1500 ms nach Stimulusbeginn. Der Plot vergleicht die mittleren Amplituden der EKF über den 6 Magnetometern im theta Frequenzbereich*

*Abb. 21: Power Spektrum für die drei Kategorien angenehm (blau), neutral (grün) und unangenehm (rot) gemittelt über alle 18 Studienteilnehmer, zwischen 500 ms vor Stimulusbeginn bis 1500 ms nach Stimulusbeginn. Der Plot vergleicht die mittleren Amplituden der EKF über den 6 Magnetometern im alpha Frequenzbereich*

*Abb. 22: Power Spektrum für die drei Kategorien angenehm (blau), neutral (grün) und unangenehm (rot) gemittelt über alle 18 Studienteilnehmer, zwischen 500 ms vor Stimulusbeginn bis 1500 ms nach Stimulusbeginn. Der Plot vergleicht die mittleren Amplituden der EKF über den 6 Magnetometern im beta Frequenzbereich*

## 9. Verzeichnisse

*Abb. 23: Power Spektrum für die drei Kategorien angenehm (blau), neutral (grün) und unangenehm (rot) gemittelt über alle 18 Studienteilnehmer, zwischen 500 ms vor Stimulusbeginn bis 1500 ms nach Stimulusbeginn. Der Plot vergleicht die mittleren Amplituden der EKF über den 6 Magnetometern im gamma Frequenzbereich*

*Abb. 24: Power Spektrum für die beiden Kategorien high arousal (blau) und low arousal (rot) der Dimension Erregung gemittelt über alle 18 Studienteilnehmer, zwischen 500 ms vor Stimulusbeginn bis 1500 ms nach Stimulusbeginn. Der Plot vergleicht die mittleren Amplituden der EKF über den 6 Magnetometern im delta Frequenzbereich*

*Abb. 25: Power Spektrum für die beiden Kategorien high arousal (blau) und low arousal (rot) der Dimension Erregung gemittelt über alle 18 Studienteilnehmer, zwischen 500 ms vor Stimulusbeginn bis 1500 ms nach Stimulusbeginn. Der Plot vergleicht die mittleren Amplituden der EKF über den 6 Magnetometern im theta Frequenzbereich*

*Abb. 26: Streu-/Punktdiagramme zur Korrelationsprüfung der drei Dimensionen Wertung (valence), Erregung/Aufregung (arousal) und Dominanz (dominance) für die Kategorie angenehm (pleasant). Valence neu/arousal neu/dominance neu sind die Bewertungen der Studienteilnehmer*

*Abb. 27: Streu-/Punktdiagramme zur Korrelationsprüfung der drei Dimensionen Wertung (valence), Erregung/Aufregung (arousal) und Dominanz (dominance) für die Kategorie unangenehm (unpleasant). Valence neu/arousal neu/dominance neu sind die Bewertungen der Studienteilnehmer*

*Abb. 28: Streu-/Punktdiagramme zur Korrelationsprüfung der drei Dimensionen Wertung (valence), Erregung/Aufregung (arousal) und Dominanz (dominance) für die Kategorie neutral (neutral). Valence neu/arousal neu/dominance neu sind die Bewertungen der Studienteilnehmer*

### **9.4. Tabellenverzeichnis**

*Tab. 1: Deskriptive Statistik für die 23 eingeschlossenen Studienteilnehmer in der Kategorie angenehm (N=60x23=1380): valence neu/arousal neu/dominance neu sind die Bewertungen der Studienteilnehmer in den Dimensionen Wertung (valence), Erregung/Aufregung (arousal) und Dominanz (dominance)*

## 9. Verzeichnisse

*Tab. 2: Mann-Whitney-U-Test: Vergleich der erhobenen Daten mit den Referenzdaten*

*Tab. 3: Deskriptive Statistik für die 23 eingeschlossenen Studienteilnehmer in der Kategorie neutral ( $N=60 \times 23=1380$ ): valence neu/arousal neu/dominance neu sind die Bewertungen der Studienteilnehmer in den Dimensionen Wertung (valence), Erregung/Aufregung (arousal) und Dominanz (dominance)*

*Tab. 4: Mann-Whitney-U-Test: Vergleich der erhobenen Daten mit den Referenzdaten*

*Tab. 5: Deskriptive Statistik für die 23 eingeschlossenen Studienteilnehmer in der Kategorie unangenehm ( $N=60 \times 23=1380$ ): valence neu/arousal neu/dominance neu sind die Bewertungen der Studienteilnehmer in den Dimensionen Wertung (valence), Erregung/Aufregung (arousal) und Dominanz (dominance)*

*Tab. 6: Mann-Whitney-U-Test: Vergleich der erhobenen Daten mit den Referenzdaten*

*Tab. 7: GEE für die Kategorie angenehm, als abhängige Variable wurde die Wertung der Studienteilnehmer (valence neu) und als Prädiktoren die Erregung/Aufregung (arousal neu) und die Dominanz (dominance neu) der Studienteilnehmer definiert*

*Tab. 8: GEE für die Kategorie unangenehm, als abhängige Variable wurde die Wertung der Studienteilnehmer (valence neu) und als Prädiktoren die Erregung/Aufregung (arousal neu) und die Dominanz (dominance neu) der Studienteilnehmer definiert*

*Tab. 9: GEE für die Kategorie neutral, als abhängige Variable wurde die Wertung der Studienteilnehmer (valence neu) und als Prädiktoren die Erregung/Aufregung (arousal neu) und die Dominanz (dominance neu) der Studienteilnehmer definiert*

## 10. Anhang

### 10.1. Weitere IBM® SPSS® Tabellen

#### (1) Alter der 18 in die MEG- und EEG-Analysen eingeschlossenen Studienteilnehmer

Statistiken		
Alter		
N	Gültig	18
	Fehlend	0
Mittelwert		26,72
Median		26,50
Standardabweichung		3,968
Varianz		15,742

#### (2) Subjektive Bewertung: Studienteilnehmer – Test auf Normalverteilung (Kategorie angenehm)

Tests auf Normalverteilung <sup>a</sup>						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>b</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
valence neu	,184	1380	,000	,879	1380	,000
arousal neu	,149	1380	,000	,935	1380	,000
dominance neu	,160	1380	,000	,904	1380	,000

a. Gruppe = Studienteilnehmer

b. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

#### (3) Subjektive Bewertung: Studienteilnehmer – Test auf Normalverteilung (Kategorie unangenehm)

Tests auf Normalverteilung <sup>a</sup>						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>b</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
valence neu	,295	1380	,000	,770	1380	,000
arousal neu	,170	1380	,000	,900	1380	,000
dominance neu	,161	1380	,000	,907	1380	,000

a. Gruppe = Studienteilnehmer

b. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

## 10. Anhang

### (4) Subjektive Bewertung: Studienteilnehmer – Test auf Normalverteilung (Kategorie neutral)

<b>Tests auf Normalverteilung<sup>a</sup></b>						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>b</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
valence neu	,337	1380	,000	,807	1380	,000
arousal neu	,371	1380	,000	,677	1380	,000
dominance neu	,240	1380	,000	,831	1380	,000

a. Gruppe = Studienteilnehmer

b. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

### (5) Subjektive Bewertung: Referenzdaten – Test auf Normalverteilung (Kategorie angenehm)

<b>Tests auf Normalverteilung<sup>a</sup></b>						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>b</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
valence neu	,055	1440	,000	,974	1440	,000
arousal neu	,109	1440	,000	,946	1440	,000
dominance neu	,113	1440	,000	,946	1440	,000

a. Gruppe = Referenzgruppe Literatur

b. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

### (6) Subjektive Bewertung: Referenzdaten – Test auf Normalverteilung (Kategorie neutral)

<b>Tests auf Normalverteilung<sup>a</sup></b>						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>b</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
valence neu	,076	1440	,000	,966	1440	,000
arousal neu	,080	1440	,000	,980	1440	,000
dominance neu	,056	1440	,000	,982	1440	,000

a. Gruppe = Referenzgruppe Literatur

b. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

## 10. Anhang

### (7) Subjektive Bewertung: Referenzdaten–Test auf Normalverteilung (Kategorie unangenehm)

Tests auf Normalverteilung <sup>a</sup>						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>b</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
valence neu	,121	1440	,000	,879	1440	,000
arousal neu	,117	1440	,000	,941	1440	,000
dominance neu	,115	1440	,000	,943	1440	,000

a. Gruppe = Referenzgruppe Literatur

b. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

### (8) Deskriptive Statistik: Referenzdaten – Kategorie angenehm

Statistiken <sup>a</sup>				
		valence neu	arousal neu	dominance neu
N	Gültig	1440	1440	1440
	Fehlend	0	0	0
Median		7,11500	5,11000	6,02500
Perzentile	25	6,79250	4,55500	5,71375
	50	7,11500	5,11000	6,02500
	75	7,40750	6,12750	6,27750

a. Gruppe = Referenzgruppe Literatur

### (9) Deskriptive Statistik: Referenzdaten – Kategorie neutral

Statistiken <sup>a</sup>				
		valence neu	arousal neu	dominance neu
N	Gültig	1440	1440	1440
	Fehlend	0	0	0
Median		4,88000	3,01000	5,92000
Perzentile	25	4,74000	2,64500	5,61750
	50	4,88000	3,01000	5,92000
	75	5,04750	3,50000	6,15750

a. Gruppe = Referenzgruppe Literatur



## 10. Anhang

### (10) Deskriptive Statistik: Referenzdaten – Kategorie unangenehm

		Statistiken <sup>a</sup>		
		valence neu	arousal neu	dominance neu
N	Gültig	1440	1440	1440
	Fehlend	0	0	0
Median		2,04000	6,62000	3,03000
Perzentile	25	1,79000	6,06500	2,81000
	50	2,04000	6,62000	3,03000
	75	2,42500	6,92750	3,48250

a. Gruppe = Referenzgruppe Literatur

### (11) Fragebogen vor MEG/EEG Messung: 18 eingeschlossene Versuchspersonen

		Statistiken								
		traurig	glück- lich	zufrie- den	gestresst	gespannt	aufge- regt	ausgegli- chen	müde	ängstlich
N	Gültig	18	18	18	18	18	18	18	18	18
	Fehlend	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mittelwert		,72	7,11	7,22	3,33	6,56	4,11	7,61	3,22	1,17
Median		,00	7,00	7,00	3,00	6,50	4,50	8,00	3,00	,00
Standardabweichung		1,708	1,568	1,987	2,635	2,833	3,160	2,004	2,390	2,149
Varianz		2,918	2,458	3,948	6,941	8,026	9,987	4,016	5,712	4,618

### (12) Fragebogen vor der subjektiven Bewertung: 22 Versuchspersonen

		Statistiken								
		traurig	glück- lich	zufrie- den	gestresst	gespannt	aufge- regt	ausgegli- chen	müde	ängstlich
N	Gültig	22	22	22	22	22	22	22	22	22
	Fehlend	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mittelwert		1,05	7,32	7,77	2,86	5,41	2,73	7,32	3,95	,68
Median		,00	7,00	7,50	3,00	6,00	3,00	7,50	4,00	,00
Standardabweichung		1,290	1,492	1,572	2,587	2,649	2,529	1,961	2,609	1,756
Varianz		1,665	2,227	2,470	6,695	7,015	6,398	3,846	6,807	3,084
Spannweite		4	6	5	8	10	7	7	9	8

## 10. Anhang

### (13) Fragebogen zur Vorliebe der Filmkategorien: 22 Versuchspersonen

		<b>Statistiken</b>					
		Romantik- /Liebesfilme	Thriller /Horrorfilme	Krimiserien	Science-Fiction /Fantasy	Komödien	Abenteuerfilme
N	Gültig	22	22	22	22	22	22
	Fehlend	0	0	0	0	0	0
Mittelwert		5,64	4,86	6,73	5,64	6,91	7,14
Median		5,50	4,00	7,00	6,00	8,00	7,50
Standardabweichung		3,170	3,482	2,414	3,017	2,741	2,396
Varianz		10,052	12,123	5,827	9,100	7,515	5,742
Spannweite		10	10	8	9	10	8

## 10.2. Formulare

### 10.2.1. Einverständniserklärung



Hans-Berger-Klinik  
für Neurologie

Universitätsklinikum Jena · Biomagnetisches Zentrum · Postfach · 07740 Jena

Biomagnetisches Zentrum  
Am Klinikum 1  
07747 Jena

Dr. Ralph Huonker  
Telefon: 03641 9 32 57 74  
Telefax: 03641 9 32 57 72  
E-Mail: Ralph.Huonker@med.uni-jena.de

Das Universitätsklinikum Jena ist  
zertifiziert nach DIN EN ISO 9001

Jena, den

#### Einverständniserklärung

Name des Teilnehmers: .....

Hiermit bestätige ich als Teilnehmer der Studie „zur Klassifikation emotionaler Expression der Klinik für Neurologie der FSU Jena“ über das Ziel der Studie informiert worden zu sein.

Ich wurde über Ablauf, Risiken und Nutzen der Studie aufgeklärt. Ich habe keine weiteren Fragen mehr. Mir ist bekannt, dass ich den Versuch zu jedem Zeitpunkt von meiner Seite aus beenden kann. Der Versuchsleiter steht mir jederzeit für Rückfragen zur Verfügung.

Ich bin damit einverstanden, dass während der Untersuchung eine Video-Aufzeichnung von mir gemacht wird. Ich kann diese Einverständniserklärung jederzeit ohne Angabe von Gründen zurückziehen, ohne dass mir daraus ein Nachteil entsteht.

Ich stelle mich der Untersuchung freiwillig zur Verfügung.

*Die Erhebung und Speicherung meiner Daten entspricht den geltenden gesetzlichen Bestimmungen. Ich erkläre, dass ich mit der im Rahmen der Studie erfolgenden Aufzeichnung von Studiendaten und ihrer anonymisierten Weitergabe, soweit es für die Auswertung der Studie erforderlich ist, und, soweit es sich um personenbezogene Daten handelt, mit deren Einsichtnahme durch zur Verschwiegenheit verpflichtete Mitarbeiter des Klinikums einverstanden bin.*

Ort, Datum: .....

Unterschrift d. Arztes/Wissenschaftlers

Unterschrift d. Probanden

Bachstraße 18 · 07743 Jena · Telefon 03641 93 00  
Internet: [www.uniklinikum-jena.de](http://www.uniklinikum-jena.de)  
Gerichtsstand Jena  
USt-MNr. DE 150545777  
Bankverbindung: Sparkasse Jena · BIC 830 530 30  
Konto 221 IBAN: DE97 8305 3030 0000 0002 21  
BIC: HELADEF3333

Universitätsklinikum Jena · Körperschaft des Öffentlichen Rechts  
als Teilkörperschaft der Friedrich-Schiller-Universität Jena  
Verwaltungsratsvorsitzender: Staatssekretär Markus Hoppe  
Kaufmännischer Vorstand und SprecherIn des  
Klinikumsvorstandes: Dr. Brunhilde Seidel-Riem  
Medizinischer Vorstand: PD Dr. Jens Maschmann  
Wissenschaftlicher Vorstand: Prof. Dr. Klaus Benndorf





Hans-Berger-Klinik  
für Neurologie

Studie: zur Klassifikation emotionaler Expression der Klinik für Neurologie der FSU Jena

verantwortlich: PD OA. Dr. med. Carsten Klingner

Name, Vorname

Geburtstag

Händigkeit

☐ rechts

☐ links

Sind in Ihrem Körper Metallteile (z.B. Retainer, Zahnsperre, nicht-herausnehmbare Piercings, Metallprothesen, Gefäßclips, Granatsplitter)?

☐ ja

☐ nein

Für Frauen im gebärfähigen Alter: Könnten Sie schwanger sein?

☐ ja

☐ nein

Tragen Sie eine Brille oder Kontaktlinsen?

☐ nein

☐ Brille

☐ Kontakt-  
linsen

Stärke

Körpergröße, -gewicht

cm,

kg

Heimatanschrift Ort

Straße

Telefon

tagsüber erreichbar:

(Telefon)

evtl. E-Mail

## 10.2.2. Aufklärung



Hans-Berger-Klinik  
für Neurologie

Universitätsklinikum Jena · Biomagnetisches Zentrum · Postfach · 07740 Jena

Biomagnetisches Zentrum  
Am Klinikum 1  
07747 Jena

Dr. Ralph Huonker  
Telefon: 03641 9 32 57 74  
Telefax: 03641 9 32 57 72  
E-Mail: Ralph.Huonker@med.uni-jena.de

Das Universitätsklinikum Jena ist  
zertifiziert nach DIN EN ISO 9001

Jena, den

**Aufklärung**  
zur Teilnahme an der  
Studie zur Klassifikation emotionaler Expression der  
*Klinik für Neurologie der FSU Jena*

Sehr geehrter Teilnehmer,

Vielen Dank, dass Sie sich für die Teilnahme an dieser Studie bereit erklärt haben. Ziel dieser Studie ist es, mehr über die Möglichkeiten der elektrophysiologischen Detektion von Emotionen zu erfahren.

Hierbei werden Ihnen Bilder gezeigt, die Sie innerhalb des Experiments bezüglich verschiedener emotionaler Komponenten bewerten müssen.

Während der elektroenzephalographischen (EEG) und magnetenzephalographischen (MEG) Untersuchungen werden die elektromagnetischen Abstrahlungen der Versuchsperson rein passiv aufgefangen. Eine Gefährdung der Versuchsperson besteht nicht.

Während der Untersuchung werden Ihre Gesichtsbewegungen mittels einer Videokamera aufgezeichnet. Die Videodaten wie auch Ihre persönlichen Informationen werden streng vertraulich behandelt und nur zu wissenschaftlichen Zwecken verwendet. Alle Datensätze werden nach der Erstellung anonymisiert. Die Bild/Videodaten werden nicht ohne explizites Einverständnis veröffentlicht oder anderweitig Personen außerhalb des aktuellen Projekts zugänglich gemacht. Die Daten werden 10 Jahre nach der Aufnahme gelöscht.

In direkter Konsequenz von Ergebnissen dieser Untersuchung soll eine Verbesserung der Mensch-Maschine Interaktion erzielt werden.

Sie können die Untersuchung zu jedem Zeitpunkt ohne Angabe von Gründen und ohne Nachteile für sich abbrechen.

Bachstraße 18 · 07743 Jena · Telefon 03641 93 00  
Internet: [www.uniklinikum-jena.de](http://www.uniklinikum-jena.de)  
Gerichtsstand Jena  
USt-MNr: DE 150545777  
Bankverbindung: Sparkasse Jena · BLZ 830 530 30  
Konto 221 IBAN: DE97 8305 3030 0000 0002 21  
BIC: HELADEF3333

Universitätsklinikum Jena · Körperschaft des Öffentlichen Rechts  
als Teilkörperschaft der Friedrich-Schiller-Universität Jena  
Verwaltungsratsvorsitzender: Staatssekretär Markus Hoppe  
Kaufmännischer Vorstand und Sprecherin des  
Klinikumsvorstandes: Dr. Brunhilde Seidel-Kreem  
Medizinischer Vorstand: PD Dr. Jens Maschmann  
Wissenschaftlicher Vorstand: Prof. Dr. Klaus Berndorf



**Wie läuft die Studie für Sie ab?**

**Ablauf der EEG/MEG Untersuchung**

- Aufklärung über die Untersuchung durch den Studienleiter
- Vorbereitung der Messung inklusive Verkabelung des EEGs (Dauer ca. 45 Minuten)
- Messung (Dauer ca. 55 Minuten)

**Ablauf des Ratings und der Video-Aufzeichnung**

- Klärung der Rating-Kategorien
- Kurzer Übungsablauf des Ratings anhand einer Beispielbilderpräsentation
- Rating mit Video-Aufzeichnung des Gesichtes (Dauer ca. 55 Minuten)

**Voraussetzungen für die Teilnahme**

- Alter >18 Jahren
- Keine neurologischen oder psychiatrischen Vorerkrankungen
- MRT-Tauglichkeit
- Kontakt: PD Dr. med. C. Klingner; Klinik für Neurologie der FSU Jena;  
03641/9 323467; carsten.klingner@med.uni-jena.de

Bachstraße 18 · 07743 Jena · Telefon 03641 93 00  
Internet: [www.uniklinikum-jena.de](http://www.uniklinikum-jena.de)  
Gerichtsstand Jena  
USt-IDNr: DE 150545777  
Bankverbindung: Sparkasse Jena · BLZ 830 530 30  
Konto 221 IBAN: DE97 8305 3030 0000 0002 21  
BIC: HELADEFJEN

Universitätsklinikum Jena · Körperschaft des Öffentlichen Rechts  
als Teilkörperschaft der Friedrich-Schiller-Universität Jena  
Verwaltungsratsvorsitzender: Staatssekretär Markus Hoppe  
Kaufmännischer Vorstand und Sprecherin des  
Klinikumsvorstandes: Dr. Brunhilde Seidel-Kwem  
Medizinischer Vorstand: PD Dr. Jens Maschmann  
Wissenschaftlicher Vorstand: Prof. Dr. Klaus Benndorf



**Wie erfolgt die Auswertung der Videodaten?**

Die Videos werden an unsere Projektpartner weitergegeben. Die Videos enthalten keine personenbezogenen Daten, sondern nur eine fortlaufende Nummerierung. Die Videos können nicht vollständig anonymisiert werden, da Ihr Gesicht zu erkennen ist. Schließlich wollen wir Ihre Gesichtsbewegungen automatisch analysieren. Daher kann Ihr Gesicht nicht, auch nicht zum Teil, abgedeckt werden. Zum einen erhält die Arbeitsgruppe von Prof. Strauss und Dr. Altmann aus dem Institut für Psychosoziale Medizin und Psychotherapie, Universitätsklinikum Jena, die Videos für die wissenschaftliche Untersuchung der Interaktion zwischen Patient und Therapeut. Zum anderen erhält die Arbeitsgruppe von Prof. Denzler, Fakultät für Mathematik und Informatik/ Lehrstuhl Digitale Bildverarbeitung, Friedrich-Schiller-Universität Jena, die Aufzeichnungen. Diese Arbeitsgruppe wird die Algorithmen für die automatische Bildanalyse der Gesichtsbewegungen erarbeiten. Die genannten Personen sind nicht in Ihre Behandlung involviert, können also bei der Videoanalyse keine Rückschlüsse auf Ihre Person ziehen. Keine weiteren Personen erhalten Zugriff zu den Videoaufnahmen. Alle Videos werden nach Abschluss des Forschungsprojekts vernichtet.

**Wie können Sie Ihre Zustimmung widerrufen?**

Sie haben jederzeit die Möglichkeit, diese Zustimmung zu widerrufen. Widerrufen Sie Ihre Zustimmung, wenn die Übergabe der Videos an den Projektpartner bereits erfolgt ist, so können die Videos nicht mehr vor Projektende gelöscht werden, da dann ein Rückschluss vom Video auf Ihre Person nicht mehr möglich ist. Alle Videos werden nach Abschluss des Forschungsprojekts vernichtet (siehe oben)

Hiermit erkläre ich mich mit der Teilnahme an der Studie zur Klassifikation emotionaler Expression der Klinik für Neurologie der FSU Jena einverstanden. Ich wurde über Ablauf, Risiken und Nutzen der Studie aufgeklärt. Ich habe keine weiteren Fragen mehr.

Ich bin mir bewusst, dass ich die Untersuchung zu jedem Zeitpunkt ohne Angabe von Gründen und ohne Nachteile für mich abbrechen kann.

Jena, den \_\_\_\_\_  
Datum Unterschrift

Jena, den \_\_\_\_\_  
Datum Unterschrift Studienleiter

Bachstraße 18 · 07743 Jena · Telefon 03641 93 00  
Internet: [www.uniklinikum-jena.de](http://www.uniklinikum-jena.de)  
Gerichtsstand Jena  
USt-IDNr: DE 150545777  
Bankverbindung: Sparkasse Jena · BLZ 830 530 30  
Konto 221 IBAN: DE97 8305 3030 0000 0002 21  
BIC: HELADEFJEN

Universitätsklinikum Jena · Körperschaft des Öffentlichen Rechts  
als Teilkörperschaft der Friedrich-Schiller-Universität Jena  
Verwaltungsratsvorsitzender: Staatssekretär Markus Hoppe  
Kaufmännischer Vorstand und Sprecherin des  
Klinikumsvorstandes: Dr. Brunhilde Seidel-Kwem  
Medizinischer Vorstand: PD Dr. Jens Maschmann  
Wissenschaftlicher Vorstand: Prof. Dr. Klaus Benndorf



### **10.3. Studienteilnehmerinstruktion**

Studienteilnehmerinstruktion - modifiziert nach (Bradley und Lang 1994, Lang et al. 1997, Lang et al. 2008, Bradley und Lang 2007)

In dieser Studie geht es um die Klassifikation emotionaler Expression. Im Rahmen dieser Untersuchung werden Sie im 1. Teil sowohl eine Magnetoenzephalographie (MEG), als auch eine Elektroenzephalographie (EEG) erhalten. Im 2. Teil werden Sie die gleichen Bilder erneut sehen, im Anschluss allerdings jedes einzelne Bild nach drei Kategorien bewerten. Dazu gleich mehr, nun erst einmal nähere Informationen zum 1. Teil. Bevor es losgeht, würden wir Sie bitten, einen Fragebogen bezüglich Ihrer jetzigen Gemütslage auszufüllen.

In den darauffolgenden ca. 45 min. werden Sie in insgesamt 3 Durchgängen an die 200 Bilder sehen. Ihre Aufgabe wird sich im ersten Teil der Untersuchung darauf beschränken, sich die Bilder anzuschauen und diese für wenige Sekunden im Gedächtnis zu behalten. Jedes einzelne Bild erscheint ein paar Sekunden lang auf der vor Ihnen befindlichen Wand und nach jedem Bild werden Sie ebenfalls für wenige Sekunden einen schwarzen Bildschirm vor sich haben. In dieser Zeit sollten Sie das vorherige Bild erinnern, bis das Nächste erscheint. Zwischen den Durchgängen werden Sie eine kurze Entspannungsphase haben, bevor die Untersuchung fortgesetzt wird. Diese Information wird Ihnen die Versuchsleiterin über Lautsprecher mitteilen.

Zu den Bildern: Diese sind aus den verschiedensten Situationen des Lebens gegriffen und können Ihnen mehr oder weniger vertraut sein. Das ein oder andere Bild wird bei Ihnen sicherlich die verschiedensten Gemütslagen oder Gedanken hervorrufen, was allerdings beabsichtigt ist. Am Ende der Messung bitten wir Sie erneut einen Fragebogen auszufüllen, der neben allgemeinen Angaben zu Ihrer Person auch Ihre Resonanz zu den Bildern ermittelt.

Im 2. Teil der Untersuchung werden Sie die zuvor gesehenen Bilder erneut auf einem Bildschirm präsentiert bekommen. Nun wird ihre Aufgabe darin bestehen, jedes einzelne Bild nach 3 Kategorien zu bewerten. Während dieser Untersuchung wird ein Video von Ihnen aufgezeichnet, welches zur Analyse der Gesichtsmimik dient.

Die 3 Kategorien werden Wertung, Erregung und Dominanz sein. Zu jeder Kategorie sehen Sie eine Abbildung auf dem Bildschirm, die Ihnen die Skalenrichtung vorgeben wird (sogenannte *SAM* [Self-Assessment Manikin] Figuren, ein Bewertungssystem für affektive Fragestellungen). Die Figuren präsentieren folglich Ihre Gemütslage. Bevor die erste Bewertungsabbildung erscheint, hören Sie zu Ihrer Orientierung immer ein kurzes akustisches Signal. Auf der vor Ihnen befindlichen Abstimmtastatur haben Sie 7 Tasten, mit der Sie die jeweilige



Tendenz abgeben können, wobei die nächste Kategorie mit ihrem Feedback gekoppelt ist. Dies bedeutet, dass nach Ihrer Abstimmung in der jeweiligen Kategorie die Nächste auf dem Bildschirm erscheint, bis Sie das jeweilige Bild nach allen 3 Kategorien bewertet haben. Danach folgt die Präsentation des nächsten Bildes.

Für die Kategorie Wertung werden Sie insgesamt 5 Figuren von einem lachenden, glücklichen zu einem eher unglücklichen Gesichtsausdruck sehen. Fühlen Sie sich beim Betrachten des Bildes glücklich, zufrieden, hoffnungsvoll, befriedigt, drücken Sie die Taste ganz links. Ist das Gegenteil der Fall, d.h. Sie fühlen sich komplett unglücklich, unzufrieden, enttäuscht, melancholisch, verzweifelt, dann stimmen Sie mit der Taste ganz rechts ab. Für die dazwischenliegenden Meinungen sind die mittleren Tasten gemäß der Skalenrichtung vorgesehen. Bei der Kategorie Erregung ist von Interesse, ob Sie das jeweilige Bild erregt oder nicht erregt, was die fünf Figuren widerspiegeln. Fühlen Sie sich beim Betrachten des jeweiligen Bildes erregt, stimuliert, aufgeregt, nervös, hellwach, stimmen Sie bitte -gemäß der Abbildung- mit der Taste ganz links ab. Versetzt Sie das Bild nicht in Aufregung, d.h. Sie fühlen sich beim Betrachten entspannt, ruhig, unerregt, gelockert, müde, träge, dann dürfen Sie die Taste ganz rechts betätigen. Für die dazwischenliegende Gemütslage sind die mittleren Tasten gemäß der Skalenrichtung vorgesehen.

In der letzten Kategorie Dominanz werden Sie dazu aufgefordert, das zuvor präsentierte Bild danach einzuteilen, ob Sie beim Betrachten das Gefühl haben, beherrscht zu sein versus die Kontrolle zu haben. Die fünf Figuren reichen von einer kleinen zu einer großen Figur mit verschränkten Armen. An dem einem Ende der Skala sind Ihre Gefühle charakterisiert als vollständig kontrolliert, beherrscht, beeinflusst, geführt, unterwürfig. Bitte drücken Sie die Taste ganz links, wenn Sie sich kontrolliert fühlen (Sie fühlen sich ganz „klein“). Der entgegengesetzte Endpunkt der Skala bedeutet, dass Sie sich vollständig einflussreich, wichtig, autonom, dominant fühlen. Sollte dies auf Sie bei dem entsprechenden Bild zutreffen, dann bitte die Taste ganz rechts betätigen (Sie fühlen sich „groß“). Wenn Sie weder das Gefühl haben, durch das Bild beherrscht zu werden, noch selbst die Kontrolle zu haben, dann entscheiden Sie sich für die mittleren Tasten gemäß der Skala.

Bitte bewerten Sie die Bilder möglichst spontan, es gibt keine richtige oder falsche Bewertung, denn jeder Mensch empfindet aufgrund seiner Persönlichkeitsstruktur und seine Lebenserfahrung die gezeigten Bilder anders.

Damit Sie ein Gefühl für das Bewerten bekommen, dürfen Sie nun drei Bilder, die nicht Teil der Studie sind, vorab gemäß den drei oben genannten Kriterien bewerten und sich gegeben falls bei Rückfragen an die Versuchsleiterin wenden.

## 10.4. Fragebögen

### 10.4.1. Vor dem 1. Teil der Studie

Irestra Studie

Verantwortliche: PD OA Dr. med. C. Klingner  
Sandra Heginger

Proband:

**Vor der MEG/EEG Messung**

Zu Ihrer Stimmungslage gerade:

traurig

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

glücklich

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

zufrieden

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

gestresst

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

gespannt

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

aufgeregt

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

ausgeglichen

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

müde

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

ängstlich

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

## 10. Anhang

### 10.4.2. Vor dem 2. Teil der Studie

Irestra Studie

Verantwortliche: PD OA Dr. med. C. Klingner  
Sandra Heginger

Proband:

#### Vor dem Rating

Zu Ihrer Stimmungslage gerade:

traurig

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

glücklich

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

zufrieden

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

gestresst

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

gespannt

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

aufgeregt

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

ausgeglichen

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

müde

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

ängstlich

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

### 10.4.3. Allgemeiner Fragebogen

Irestra Studie

Verantwortliche: PD OA Dr. med. C. Klingner  
Sandra Heginger

Proband:

Welchen Beruf üben Sie zurzeit aus?

- ☐ Ich bin Student(in), mein Studiengang:  
☐ Ich absolviere eine Ausbildung zum/zur:  
☐ Ich arbeite als:

Wie emotional belastend waren die Fotos (teilweise) für Sie?

Die Fotos haben mich...

- ☐ nicht berührt  
☐ so gut wie nicht berührt  
☐ berührt  
☐ schockiert

Wie gerne schauen Sie folgende Filmkategorien?

Romantik-/Liebesfilme:

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Thriller, Horrorfilme

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Krimiserien

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Science Fiction, Fantasy

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Komödien

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Abenteuerfilme

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Inwiefern trifft folgende Aussage auf Sie zu?

Ich kann kein Blut sehen.

Nein, gar nicht 1 2 3 4 5 Ja, vollständig

## 10. Anhang

### ***10.5. Curriculum vitae***

### ***10.6. Danksagung***

Mein Dank gilt natürlich allen Probanden und Probandinnen, die interessiert und geduldig an dieser Studie teilgenommen haben.

PD Dr. med. Carsten Klingner möchte ich für die optimale Betreuung dieser Promotion danken, für die vielen konstruktiven Vorschläge und besonders auch für die Beseitigung aller gedanklichen Unklarheiten meinerseits.

Ein herzliches Dankeschön an Dr. rer. nat. Ralph Huonker zum einen für die optimale Einarbeitung und zum anderen für die ganzen Antworten bzw. Lösungsvorschläge auf all meine Fragen.

Meinen größten Dank möchte ich an dieser Stelle auch Mina Kheirkhah Rahimabadi aussprechen, die einen großen Teil zur Analyse der MEG- und EEG-Daten beigetragen hat und mir stets für Fragen bzgl. MATLAB® und FieldTrip zur Verfügung stand.

Allgemein möchte ich allen Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen des Biomagnetischen Zentrums Jena danken.

Danken möchte ich auch Dr. rer. nat. Theresa Götz für die Beratung in allen statistischen Fragestellungen.

Nicht zuletzt gilt mein Dank meinem Coach Sabrina Hüttich und meinen Teammitgliedern (Saison 2017/18) der Flying Princesses Cheerleader (FPC) Jena, die unbewusst einen großen Teil zur Vollendung dieser Arbeit beigetragen haben.

### ***10.7. Ehrenwörtliche Erklärung***

Hiermit erkläre ich, dass mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität bekannt ist,

ich die Dissertation

*„Studie zur Klassifikation emotionaler Expression“*

selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind,

mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben:

- PD Dr. med. Carsten Klingner (Oberarzt, Leiter Biomagnetisches Zentrum)
- Dr. rer. nat. Ralph Huonker (MEG-Physiker)
- Mina Kheirkhah Rahimabadi,

die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,

dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und

dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Jena, 20.03.2018

Sandra Heginger